

## Resum

Aquest document és la memòria d'un projecte de final de grau en enginyeria en tecnologies industrials.

El projecte consisteix en estudiar i dissenyar la instal·lació elèctrica de baixa tensió d'un motoveler de 38 m d'eslora amb generació d'energia procedent de fonts renovables.

El primer pas ha estat fer un estudi de les càrregues de la instal·lació, tenint en compte tots els equips necessaris per satisfer la comoditat i serveis requerits en una embarcació d'aquest tipus. Posteriorment s'han estudiat les necessitats energètiques totals en un dia, avaluant alhora la potència que es requereix.

El següent pas ha estat estudiar la generació d'energia a bord, tenint en compte les restriccions imposades per les característiques de l'embarcació, com són l'espai disponible i el pes total admissible. Al mateix temps, s'han dimensionat els equips necessaris en aquest tipus d'instal·lacions, com són les bateries, els ondulators/carregadors i els equips de generació alternatius, aquests últims, mitjançant combustibles fòssils.

Tot seguit, s'ha fet l'estudi dels circuits principals al quadre general de baixa tensió i el seu corresponent esquema unifilar.

Finalment, s'ha analitzat el projecte econòmicament i el seu impacte al medi ambient.

## Sumari

Resum.....	1
Sumari .....	2
1. Introducció.....	4
1.1. Definició .....	4
1.2. Objectiu .....	4
1.3. Abast.....	4
1.4. Motivació.....	5
1.5. Anàlisi d'antecedents i viabilitat .....	6
2. Proposta de solució.....	11
3. Càlculs .....	13
3.1. Normativa vigent d'aplicació en el projecte.....	13
3.2. Requisits de la instal·lació .....	14
3.3. Estudi de les càrregues de la instal·lació elèctrica.....	15
3.3.1. Enllumenat.....	16
3.3.2. Electrodomèstics.....	22
3.3.3. Preses de corrent .....	23
3.3.4. Climatització.....	24
3.3.5. Sistema de propulsió.....	26
3.3.6. Hèlix de proa .....	30
3.3.7. Molinets per a les àncores .....	33
3.3.8. Bombes i equips necessaris .....	34
3.3.9. Equips del pont o sala de control.....	38
3.3.10. Auxiliars de maniobra i control .....	38
3.3.11. Equips d'emergència i contra incendis .....	39
3.4. Càlcul de la potència sol llicitada pel sistema .....	40
3.5. Càlcul de l'energia consumida pel sistema al llarg d'un dia .....	44

3.6.	Generació d'energia .....	47
3.6.1.	Energia solar fotovoltaica.....	48
3.6.2.	Energia eòlica.....	56
3.7.	Dimensionament del banc de bateries .....	62
3.8.	Dimensionament de l'ondulador/carregador .....	71
3.9.	Dimensionament dels grups electrògens .....	77
3.10.	Càlcul de circuits.....	83
3.10.1.	Règim de connexió a terra.....	83
3.10.2.	Distribució al quadre general de baixa tensió.....	84
3.10.3.	Cablejat i proteccions .....	88
4.	Anàlisi econòmica global .....	95
5.	Impacte ambiental i social.....	99
6.	Conclusions .....	100
7.	Agraïments .....	101
8.	Bibliografia i referències normatives .....	102
9.	Plànols i esquemes .....	104

## **1. Introducció**

### **1.1. Definició**

El projecte consistirà en estudiar i dissenyar la instal·lació elèctrica d'un motoveler d'una eslora de 38 m (72 peus) amb generació d'energia procedent una part de fonts renovables i la resta, de combustibles fòssils.

### **1.2. Objectiu**

L'objectiu és aconseguir una instal·lació elèctrica eficient, intentant reduir al màxim l'ús de combustibles fòssils per a satisfer la demanda energètica.

### **1.3. Abast**

L'abast del projecte serà l'estudi i el càlcul de les càrregues de la instal·lació elèctrica, de la generació d'energia i de l'equipament necessari per fer-ho possible. No s'inclou l'estudi i disseny dels quadres de distribució secundaris ni el cablejat a les seves corresponents càrregues.

## 1.4. Motivació

Avui en dia ens trobem en un món on la demanda energètica no para de créixer. Fins ara, la humanitat ha fet ús dels combustibles fòssils per satisfer aquesta demanda. A causa d'això, els recursos de combustibles fòssils de què disposa el planeta estan començant a escassejar, a més a més les emissions de CO<sub>2</sub> i altres productes derivats de la combustió de fonts no renovables són cada dia més grans, i estan afectant la vida al planeta.

Els enginyers d'aquestes generacions, tenen l'obligació moral i ètica de trobar maneres de satisfer la creixent demanda energètica d'una manera sostenible, neta i renovable. Amb les tecnologies actuals per això, suposa encara un gran repte aconseguir per mitjà de fonts renovables l'energia que fins ara han proporcionat les fonts no netes. És en aquest repte i en l'objectiu clar d'aprendre, on rau la motivació d'aquest treball.

A causa d'una afició personal per la navegació, s'arriba a la conclusió que en aquest camp l'enginyeria no ha dedicat tants esforços com en altres camps com per exemple l'automoció, que essent aquest el principal sector de consum fòssil, s'estan dedicant molts esforços en intentar millorar el sistema, i ja s'estan introduint al mercat molts vehicles amb una avançada tecnologia elèctrica.

La idea de dissenyar vehicles de funcionament 100% elèctric suposa encara un repte massa ambiciós actualment, i sobretot per la duració i abast d'aquest projecte. És per aquest motiu que s'opta per convertir una embarcació ja existent i funcionant 100% amb combustibles fòssils, en una embarcació amb generació d'energia neta, intentant reduir així, l'ús del combustible fòssil.

### 1.5. Anàlisi d'antecedents i viabilitat

En el sector naval, les inversions en eficiència energètica i energies renovables que s'han fet fins fa ben poc han estat escasses. L'elevada demanda de potència de les grans embarcacions fa inviable una generació d'energia suficient per abastir aquests requeriments. A causa de les restriccions d'espai i d'altres com l'estabilitat i la seguretat de l'embarcació, sumat a les poques innovacions en el sector de l'emmagatzament de l'energia i l'eficiència de la generació procedent de fonts renovables, les grans embarcacions (iots) utilitzen com a font principal d'energia els combustibles fòssils.

Algunes embarcacions però, ja presenten solucions al respecte, tot i que són embarcacions de petita eslora, on el consum elèctric és baix i la propulsió principal és la vela. En aquestes embarcacions s'aprofita l'energia solar mitjançant mòduls fotovoltaics i l'energia del vent mitjançant aerogeneradors.

A la figura 1.1<sup>1</sup> es pot veure un motoverler amb generació d'energia renovable.



**Figura 1.1** Motoverler amb generació d'energia solar i eòlica.

<sup>1</sup> Font: <http://nauticagenova.com/blog/novedades-nauticas-paneles-solares-en-los-barcos-y-veleros/>

A la figura 1.2<sup>1</sup> s'observa, en vista superior, un motoveler amb una instal·lació mixta, solar i eòlica.



Figura 1.2 Motoveler amb generació d'energia solar i eòlica. Vista superior

En la majoria de casos, però, es requereix un sistema alternatiu de generació d'energia, com pot ser un motor tèrmic amb alternador, que utilitza el combustible fòssil per abastir el dèficit d'energia que pot tenir quan hi ha pics de consum d'energia, o quan la força del vent no és suficient i s'ha de navegar a motor.

---

<sup>1</sup> Font: <http://nauticagenova.com/blog/novedades-nauticas-paneles-solares-en-los-barcos-y-veleros/>



A la figura 1.3<sup>1</sup> es mostra un veler amb un aerogenerador model Air X Marine.



**Figura 1.3** Motoveler amb aerogenerador Air X Marine

<sup>1</sup> Font: <http://www.primuswindpower.com/application-uses/sail-boat-wind-power/>



Recentment, i en casos molt puntuals, el mercat ja presenta algunes solucions on embarcacions propulsades majoritàriament a vela, el consum d'energia a bord ja funciona 100% elèctricament, sense generació auxiliar procedent de combustibles fòssils.

Aquest és el cas d'un veler d'11 m d'eslora, dissenyat per l'empresa innovanautic i patrocinat per la multinacional ABB.

Aquest veler presenta una generació d'energia neta procedent de tres vies, la solar fotovoltaica, la força del vent (amb aerogeneradors), i la de l'aigua (amb una turbina hidràulica que actua com a generador quan navega a vela i com a motor de propulsió elèctric quan es desitja). Cada tres hores de navegació a vela, aquesta turbina genera energia per una hora de navegació a motor.

D'aquesta manera, i amb un sistema de control i automatització molt avançat desenvolupat per ABB, aquest veler funciona al 100% amb energies netes, sense cap tipus d'ús de combustibles fòssils com a font d'energia auxiliar.

Aquesta tecnologia però, encara no és del tot efectiva en grans embarcacions o iots, on la demanda d'energia creix exponencialment amb l'eslora de l'embarcació. En les figures 1.4 i 1.5<sup>1</sup> es mostra el veler innovanautic.



**Figura 1.4** Plaques solars del veler Innovanautic



**Figura 1.5** Veler Innovanautic. Vista lateral

<sup>1</sup> Font: <http://www.abb.es/cawp/seitp202/e0cd28b443bdee3cc12578d4002e6f24.aspx>

Actualment hi ha solucions per a aquests iots, però sovint les seves característiques no compleixen els requisits de comoditat i/o utilitat que se suposa que han de proporcionar, i el seu disseny està més enfocat a superar els límits de la generació d'energia neta que a una correcta navegació i una comoditat suficient. O si els compleixen, la tecnologia dels materials i el seu complex disseny fa que el seu preu sigui tan elevat que no sigui competitiu respecte al mercat actual de iots basats en combustibles fòssils.

Un exemple podria ser el TURANOR PLANETSOLAR de l'empresa LOMOcean. Es tracta d'un super iot de luxe on la seva energia procedeix 100% de l'energia solar fotovoltaica. Aquest iot però, té una velocitat màxima de creuer de sis nusos<sup>1</sup> (3,08 m/s), insuficient per un iot d'aquestes característiques, i, com ja s'ha comentat, es pot veure en la figura 1.6<sup>2</sup> que el seu disseny està enfocat a la generació d'energia solar i no a les prestacions pròpies d'un iot d'aquestes característiques.



**Figura 1.6** TURANOR PlanetSolar. Vista frontal

<sup>1</sup> 1 nus = 0,5144 m/s

<sup>2</sup> Font: <http://www.maxisciences.com/planetsolar/wallpaper>

## 2. Proposta de solució

La solució a la qual s'ha arribat és un motoveler de 38 m d'eslora amb una generació d'energia renovable mixta, que combina la solar i l'eòlica. Aquesta generació d'energia pot arribar, en els mesos de màxima generació, a valors pròxims als 60 kWh/dia.

La generació d'energia és possible principalment gràcies a superfície de 50 m<sup>2</sup> de plaques solars repartides per la coberta de l'embarcació. Aquests mòduls solars són d'una tecnologia flexible, de manera es poden trepitjar i que, per tant, no dificulten el pas dels passatgers o tripulació per la coberta de l'embarcació. També s'han instal·lat dos aerogeneradors a la popa de l'embarcació, de dimensions i pes reduïdes per no crear descompensacions i d'una contaminació sonora també reduïda.

En l'estudi de les càrregues i consums, s'ha vist que estant fondejat o navegant a vela el consum està prop dels 80 kWh/dia, valor que s'ha pogut suplir amb un banc de bateries que, juntament amb la generació d'energia, és capaç de garantir una autonomia mínima del sistema de tres dies, en temporada d'estiu (del mes d'abril al mes de setembre, on la generació d'energia és més alta), sense fer ús d'una generació alternativa mitjançant combustibles fòssils.

Si es desitja navegar a motor, tot i ser el sistema de propulsió 100% elèctric (ja que presenta millors prestacions que els motors tèrmics convencionals), el banc de bateries no és suficient per a alimentar una càrrega de gran consum com és el motor de propulsió. És per això que s'han instal·lat tres grups electrògens.

Dos d'aquests grups estan dimensionats per subministrar la potència necessària per propulsar l'embarcació i que poden, simultàniament, abastir la resta de càrregues de la instal·lació. El tercer grup, de dimensions reduïdes, de poca potència i insonoritzat, s'ha dimensionat per realitzar les maniobres a port i/o intervenir en cas que la càrrega de les bateries fos insuficient estant fondejat o navegant a vela.

El sistema de control de la instal·lació es basarà en un autòmat que podrà fer les accions automàticament o controlades manualment des del pont de control. Aquest controlarà els enclavaments entre els grups electrògens i els ondulators de càrrega, que en funció de l'estat de les bateries les hauran de carregar.

A l'esquema 7 de l'apartat 9, es pot veure l'esquema unifilar del quadre general de baixa tensió.

### 3. Càlculs

#### 3.1. Normativa vigent d'aplicació en el projecte

La normativa que s'ha tingut en compte per l'elaboració del projecte ha estat la següent:

#### **Instal·lació elèctrica i energies renovables:**

- Conveni SOLAS, 2009. Conveni internacional per la seguretat humana al mar.
- Rules for Classification and Construction Ship Technology, Electrical installations. Germanischer Lloyd SE, 29 Gener 2014. Societat de classificació per la qual es regula la normativa de les instal·lacions elèctriques en embarcacions
- IEC 60092: Electrical installations in ships
- Reial Decret 842/2002, del 2 d'agost, pel qual s'aprova el reglament electrotècnic de baixa tensió.
- Ordre IET/1882/2014, de 14 d'octubre, per la qual s'estableix la metodologia per al càlcul de l'energia elèctrica imputable a la utilització de combustibles en les instal·lacions solars fotovoltaïques
- IEC 60092-350:2014 General construction and test methods of power, control and instrumentation cables for shipboard and offshore applications
- Reial Decret 314/2006, de 17 de març, pel qual s'aprova el codi tècnic de l'edificació.

#### Notes:

Tot i que el reglament electrotècnic de baixa tensió i el codi tècnic de l'edificació no és d'aplicació directa en embarcacions, sí que s'ha tingut en compte per a aspectes concrets, dels que s'anirà fent menció al llarg de la memòria, que ni SOLAS i Germanischer Lloyd SE no regulaven.

### 3.2. Requisits de la instal·lació

A bord d'un motoveler de grans dimensions, com aquest, s'espera un grau de comoditat elevat. Les dependències interiors es dissenyen de tal forma que la vida a bord simuli les comoditats d'una llar terrestre, de tal manera que la climatització, els electrodomèstics i la resta d'aparellatge elèctric hi han de ser presents.

Per altra banda, des del punt de vista de la navegació, aquestes embarcacions han de tenir un equip complet de radiocomunicacions i ajudes a la navegació que permetin endinsar-se a la mar amb total seguretat.

L'equipament a bord és cada vegada més complex a mesura que augmenta l'eslora de l'embarcació, fent-se cada cop més dependents de l'electricitat.

A més a més, a mesura que augmenta també l'eslora, es fa més difícil la maniobrabilitat amb motors tèrmics a causa de les seves característiques. Per altra banda, els motors elèctrics ofereixen una sèrie de prestacions molt més adequades per aquests tipus d'embarcacions.

Al introduir a les càrregues de la instal·lació el motor elèctric fa que la demanda d'energia sigui massa alta per satisfer-la només amb fonts d'energia renovables.

#### **Dades i requisits inicials:**

**Localització habitual de l'embarcació:** Begur, costa brava, Catalunya

**Passatgers:** 14 persones.

**Eslora de l'embarcació:** 72 peus (38 m)

**Dies mínims d'autonomia utilitzant l'energia renovable:** 3 dies

**Època principal d'utilització:** Temporada d'estiu



### 3.3. Estudi de les càrregues de la instal·lació elèctrica

En el disseny d'una instal·lació elèctrica és de vital importància saber quina és la potència de totes les càrregues que hi són presents, és a dir, la potència total instal·lada. Per això s'han realitzat càlculs per saber la potència de cada càrrega a considerar.

Les càrregues que es tindran en compte seran:

- Enllumenat
- Electrodomèstics
- Preses de corrent
- Climatització
- Sistema de propulsió
- Hèlix de proa
- Molinets per a les àncores
- Bombes i equips necessaris
- Equips de la sala o pont de control
- Auxiliars de maniobra i control
- Equips d'emergència i contra incendis

### 3.3.1. Enllumenat

#### Enllumenat interior

Per al càlcul de la potència requerida per a l'enllumenat interior s'ha fet servir el mètode **dels lúmens**, que permet saber en funció de la lluminària escollida i la qualitat i quantitat de llum que es desitja, la quantitat de punts de llum necessaris, i la potència instal·lada.

Aquest simple mètode es basa en un càlcul del flux lluminós, que té l'expressió de l'equació 3.1

$$\Phi = \frac{E_m \cdot S}{C_u \cdot C_m} \quad \text{Eq. 3.1}$$

On:

$\Phi$  És el flux lluminós que necessita un espai o local (expressat en lúmens)

$E_m$  És el nivell d'il·luminància mig (expressat en lux). Hi ha valors tabulats en funció de la utilitat que es vulgui donar al local.

$S$  És la superfície del local (en m<sup>2</sup>).

$C_u$  És el coeficient d'utilització, que depèn de les característiques del local i les característiques de la lluminària. El seu valor s'extreu d'unes taules subministrades pel fabricant.

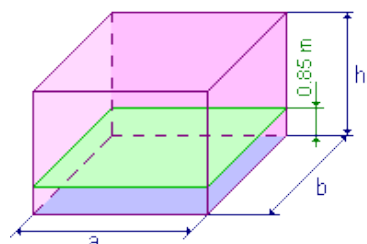
$C_m$  És el factor de manteniment, que depèn majoritàriament de la netedat del local a il·luminar. També hi ha diferents valors tabulats.

Les dades necessàries per saber conèixer tots els paràmetres són:

- Dimensions del local, altura (H), amplada, llargada i superfície
- Altura del pla de treball (h)
- L'altura la qual es col·locaran les lluminàries
- Nivell d'il·luminància mig
- Característiques de la lluminària que s'utilitzarà

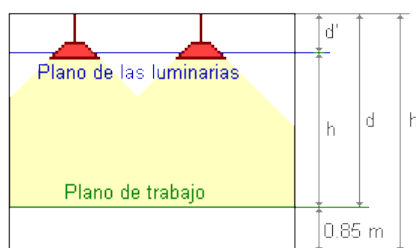
A través del software Autocad i els plànols de l'embarcació s'han trobat les dimensions de cada local.

Per a l'altura del pla de treball ( $h$ ) s'ha escollit l'estàndard, que són 0,85 m respecte al terra, tal i com es mostra en la figura 3.1<sup>1</sup>.



**Figura 3.1**

Les lluminàries, al ser una il·luminació directa i estàndard, s'instal·laran a l'altura màxima admissible, és a dir, l'altura del sostre, essent la distància mostrada en la figura 3.2<sup>2</sup>,  $d'$ , igual a 0.



**Figura 3.2**

El nivell d'il·luminància mig ( $E_m$ ) considerat dependrà de la zona a il·luminar, amb valors compresos entre 200 i 500 lux.

El tipus de lluminària escollida serà de tecnologia LED la més eficient en pel que fa a lm/W del mercat actual. Concretament el model 16-1X7BC60 Downlight de la marca Krylux. Aquesta lluminària té un flux lumínic de 50 lm/W i una potència de 7 W.

Un cop es coneixen aquestes dades es determinen els coeficients d'utilització i de manteniment. El coeficient de manteniment ( $C_m$ ) depèn de la netedat del local, fluctuant entre valors de 0,5 i 0,9. Per a locals generalment nets, s'utilitza un coeficient de 0,8

<sup>1</sup> Font: <http://recursos.citcea.upc.edu/llum>

<sup>2</sup> Font: <http://recursos.citcea.upc.edu/llum>

Per a calcular el factor d'utilització (**Cu**) es calcula prèviament l'índex del local "**k**", amb l'equació 3.2.

$$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} \quad \text{Eq. 3.2}$$

On *a* i *b* són l'amplada i la llargada del local respectivament, i *h* l'altura del pla de treball, que és igual a l'altura total H menys 0,85 m (valor usat per defecte).

Un cop es té l'índex del local, es procedeix a trobar el factor d'utilització en funció de valors tabulats mostrats a la taula 3.1 i que varien segons el color de les parets, el sostre i el terra del local.

	Color	F.reflexió
Sostre	Molt clar	0,7
	Clar	0,5
	Fosc	0,3
Parets	Clar	0,5
	Mig	0,3
	Fosc	0,1
Terra	Clar	0,3
	Fosc	0,1

**Taula 3.1**

En aquest cas es considerarà un sostre molt clar (0,7), unes parets clares (0,5) i un terra clar (0,3).

Un cop es tenen tots els paràmetres es pot calcular el flux lluminós per a cada habitació o zona de l'embarcació.

Un cop calculat el flux lluminós es pot procedir a trobar el nombre de punts de llum a instal·lar. Aquests es trobaran amb l'equació 3.3:

$$NL = \frac{\Phi}{n \cdot \Phi_{lluminària}} \quad Eq. 3.3$$

On:

$NL$  És el nombre de punts de llum necessaris

$\Phi_{lluminària}$  És el flux lluminós de cada lluminària

$\Phi$  És el flux lluminós necessari per al local

$n$  És el nombre de focus de llum de cada lluminària, en el nostre cas és 1.

Un cop es coneguin el nombre de lluminàries que aniran a cada habitació o zona podem saber la potència multiplicant el nombre de punts de llum requerits per la potència de cada lluminària, dada que és subministrada pel fabricant.

A les taules 3.2 i 3.3 es mostren respectivament, els factors d'utilització en funció dels valors tabulats i els càlculs realitzats per la potència de l'enllumenat interior.

Valor tabulat	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3
Factor d'utilització	0,87	0,913	0,96	1	1,04	1,068	1,096	1,12	1,152	1,18	1,19	1,2	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	1,28	1,286	1,292	1,298	1,304	1,31

Taula 3.2

Zona	Amplada (m)	Llargada (m)	Altura (m)	Altura del pla de treball (m)	S (m <sup>2</sup> )	K	Cm	Cu	Em (lux)	Flux lumínic (lmens)	Flux lumínic/Làmpada	Potència/Làmpada (W)	Nombre de punts de llum	Potència necessària (W)	
Zona	5	6,88	2	1,15	34,5	2,5	0,8	1,28	500	16845,7	350	7	49	343	
	2,03	5,85	2	1,15	11,7	1,3	0,8	1,124	200	2602,31	350	7	8	56	
	3,85	2,64	2	1,15	9,8	1,4	0,8	1,152	500	5316,84	350	7	16	112	
	7,85	4,18	2	1,15	32,6	2,4	0,8	1,27	500	16043,31	350	7	46	322	
	3,74	2,72	2	1,15	10,2	1,4	0,8	1,152	500	5533,85	350	7	16	112	
	3,12	3,69	2	1,15	11,4	1,5	0,8	1,18	500	6038,14	350	7	18	126	
	3,43	3,5	2	1,15	11,2	1,5	0,8	1,18	200	2372,88	350	7	7	49	
	2,38	2,38	2	1,15	5,6	1	0,8	1,04	200	1346,15	350	7	4	28	
	2,38	1,36	2	1,15	3,2	0,8	0,8	0,955	200	837,7	350	7	3	21	
	2,97	1,36	2	1,15	4,1	0,8	0,8	0,955	200	1073,3	350	7	4	28	
	1,68	2,53	2	1,15	5	0,9	0,8	0,995	200	1256,28	350	7	4	28	
	2,41	2,36	2	1,15	6,2	1	0,8	1,04	200	1490,38	350	7	5	35	
	1,84	1,97	2	1,15	4,2	0,8	0,8	0,955	200	1099,48	350	7	4	28	
	1,37	1,23	2	1,15	1,9	0,6	0,8	0,87	200	545,98	350	7	2	14	
	1,55	1,48	2	1,15	2,5	0,7	0,8	0,913	200	684,93	350	7	2	14	
	2,03	1,12	2	1,15	2,8	0,6	0,8	0,87	200	804,6	350	7	3	21	
0,69	13,56	2	1,15	8,1	0,6	0,8	0,87	200	2327,59	350	7	7	49		
4,82	2,8	2	1,15	14,7	1,5	0,8	1,18	500	7786,02	350	7	23	161		
5,07	6,76	2	1,15	34,7	2,5	0,8	1,28	500	16943,36	350	7	49	343		
4,75	3,43	2	1,15	18,3	1,7	0,8	1,2	500	9531,25	350	7	28	196		
5,88	2,25	2	1,15	11,8	1,4	0,8	1,152	500	6401,91	350	7	19	133		
Total															
244,5					106882					317					2219

Taula 3.3



**Enllumenat exterior i llums de l'embarcació**

Per l'il·luminació exterior es consideraran projectors instal·lats als pals o màstils de coberta. Seran halògenes model 8503 de la marca HelloMarine, amb una potència de 70 W cadascuna i un abast de 14 a 16 m. Se n'instal·laran dues a proa i quatre a popa, sumant una potència total de **420 W**.

Els llums de senyalització de l'embarcació seran LED's i es prendrà com a referència els del fabricant Atwood.

Les potències de cadascuna de les lluminàries es mostren a la taula 3.4.

Llums navegació	Color	Potencia (W)
Topall	Blanca	6,8
Costat estribord	Verda	1,5
Costat babord	Vermella	1,5
Abast	Blanca	2,1
Tot horitzó veler fondejat	Blanca	1,8
Remolc	Groga	1,9
Total		15,6

**Taula 3.4**

Per tan, la potència serà de **15,6 W**.

### 3.3.2. Electrodomèstics

Es considerarà també totes les càrregues corresponents als serveis de cuina i bugaderia. Segons els plànols de l'embarcació hi ha:

- 2 Microones (model HMT35M653 de Bosch amb un consum de 1220 W)
- 1 Rentaplats (model SMS69U88EU de Bosch amb un consum de 100 W)
- 3 Frigorífics (model KGN39XI42 de Bosch amb un consum de 160 W)
- 1 Placa de vitroceràmica (model PIL975N14E de Bosch amb un consum de 7200 W)
- 1 Extractor (model DHL755B de Bosch amb un consum de 100 W)
- 1 Forn (model HBL73S452E de Bosch amb un consum de 3650 W)
- 1 Televisor (model 26HFL3007D de Phillips amb un consum de 30 W)
- 2 Assecadores (model WTY88710EE de Bosch amb un consum de 100 W)
- 2 Rentadores (model WAY2874XES de Bosch amb un consum de 100 W)

A la taula 3.5 es mostra un resum:

Electrodomèstics	Potència	Quantitat	Potència total (W)
Frigorífic	160	3	480
Rentadora	2300	2	4600
Forn	3650	1	3650
Microones	1220	2	2440
Extractor	240	1	240
Vitroceràmica	7200	1	7200
Rentaplats	2400	1	2400
Televisor	30	1	30
Assecadora	1000	2	2000
Total			23040

**Taula 3.5**

Així doncs, tenim una potència total en electrodomèstics de **23,04 kW**.

### 3.3.3. Preses de corrent

Per al càlcul de potència de les preses de corrent d'ús general es farà servir la **instrucció tècnica complementària ITC-BT-25** del REBT. Aquesta estableix el nombre de punts d'utilització a cada zona i el nombre de punts d'utilització màxims per circuit. Aplicant la normativa, a la taula 3.6 es mostren el nombre de punts d'utilització:

Zona	Superfície (m <sup>2</sup> )	Nº punts d'utilització
Dormitori	34,5	6
Bany dormitori	11,7	2
Cabina capità	9,8	2
Cabina VIP	32,6	6
Cabina convidats babord	10,2	2
Cabina convidats estribord	11,4	2
Cuina	11,2	2
Cabineta tripulació	5,6	1
Sala de neteja estribord	3,2	0
Sala de neteja babord	4,1	0
Cabina tripulació estribord	5	1
Cabina tripulació babord 1	6,2	1
Cabina tripulació babord 2	4,2	1
Lavabo tripulació estribord	1,9	1
Lavabo tripulació babord	2,5	1
Lavabo tripulació proa	2,8	1
Passadissos	8,1	0
Menjador	14,7	3
Sala d'estar	34,7	6
Sala de control	11,8	2
<b>Total</b>	<b>226,2</b>	<b>40</b>

**Taula 3.6**

Cada circuit tindrà una potència de 3.450 W i admet vint punts d'utilització. Tal i com es mostra a l'equació 3.4, es considerarà una potència de **6,9 kW**.

$$Potència = \frac{40}{2} \cdot 3.450 = 6.900 \text{ W} \quad \text{Eq 3.4}$$

### 3.3.4. Climatització

Un dels problemes de les instal·lacions de climatització en embarcacions és el seu gran consum d'energia. En navegació, per això, el seu ús és poc freqüent, ja que navegant la brisa marítima i la regulació natural de la temperatura que exerceix el mar fa que el clima sigui suficientment confortable com per prescindir de la climatització. En alguns casos, però, com les baixes temperatures en temporada d'hivern o estan fondejats en un dia calorós fa necessari disposar d'un equip de climatització.

Pel seu dimensionament en embarcacions, s'utilitzen valors tabulats amb unitats del sistema imperial britànic, les Btu/h<sup>1</sup>. Aquests valors varien en funció de la zona que es vol climatitzar, són els presents a la taula 3.7

Zona a climatitzar	Btu/h·m <sup>3</sup>
Cabines sota coberta. Obertures petites	400
Sala d'estar, menjador. Obertures mitjanes	600
Pont de control. Obertures grans	750

**Taula 3.7**

Amb els valors d'aquesta taula i quantitat d'aire en m<sup>3</sup> de cada zona a climatitzar es poden trobar les Btu/h necessàries. A la taula 3.8 es mostra un resum.

Zona a climatitzar	Superfície (m <sup>2</sup> )	Volum d'aire (m <sup>3</sup> )	Btu/h·m <sup>3</sup>	Btu/h
Dormitori	34,5	69	400	27600
Cabina capità	9,8	19,6	400	7840
Cabina VIP	32,6	65,2	400	26080
Cabina convidats babord	10,2	20,4	400	8160
Cabina convidats estribord	11,4	22,8	400	9120
Menjador	14,7	29,4	600	17640
Sala d'estar	34,7	69,4	600	41640
Sala de control	11,8	23,6	750	17700
<b>Total</b>				<b>155780</b>

**Taula 3.8**

Es requereix un equip doncs que subministri com a mínim 160000 Btu/h.

<sup>1</sup> 1 Btu/h= 1,055 kJ/h

El model escollit és el BlueCool P-Series Quattro chiller, del fabricant Webasto. Proporciona 160000 Btu/h, té un consum de **8,7 kW** a 230 V i un pic d'arrencada de 21,16 kW. Té unes dimensions (Largada x Açada x Profundiat) (mm) de 600 x 750 x 400 mm i una massa de 230 kg. És un equip dissenyat per a embarcacions, porta un sistema de bombeig integrat i funciona amb aigua del mar.

Aquest equip també se'n podrà fer ús en temporada d'hivern, quan el que es desitgi sigui esclafar el clima, tot i que el consum serà més elevat.

### 3.3.5. Sistema de propulsió

La potència del motor de propulsió es determinarà amb un càlcul aproximat en funció del desplaçament (en tones mètriques) d'aquest. Per al disseny s'haurà de tenir present que no es desitja dissenyar una embarcació propulsada majoritàriament a motor, sinó que es pretén dissenyar una embarcació que pugui fer ús d'un motor puntualment per fondejar i maniobrar a port on la utilització de les veles és inviable.

El desplaçament total de l'embarcació es calcularà a través de mètodes estadístics que es basaran en una relació entre aquest i l'eslora de flotació.

L'eslora de flotació es defineix com la longitud de la línia de flotació del casc, és a dir, la longitud de la línia que separa la part submergida de la part emergent.

Aquesta, en velers tradicionals (com el que es considera en aquest document) pren un valor entre 0,7 i 0,9 de l'eslora màxima, variant en funció de les característiques del casc, la càrrega que transporti el veler i les condicions climàtiques.

Prenen un valor mig del 0,8 del valor de l'eslora màxima, es té que l'eslora de flotació prendrà un valor de 30,4 m, tal i com es mostra a l'equació 3.5.

$$0,8 \cdot Eslora = 0,8 \cdot 38 \text{ m} = 30,4 \text{ m} \quad \text{Eq. 3.5}$$

La relació que hi ha entre l'eslora de flotació i el desplaçament de l'embarcació es pot estimar amb mètodes estadístics, utilitzant una correlació lineal. Així doncs, per a embarcacions d'eslores compreses entre 24 i 100 m, considerades pesades, el desplaçament en tones<sup>1</sup>(t) estarà acotat pel resultat de les equacions 3.6 i 3.7

$$Desplaçament(t) > 1,1365 \cdot [Eslora \text{ flotació (m)}]^{1,2757} \quad \text{Eq. 3.6}$$

$$Desplaçament(t) < 43,532 \cdot [Eslora \text{ flotació (m)}]^{0,3402} \quad \text{Eq. 3.7}$$

---

<sup>1</sup> 1 tona mètrica = 1000 kg



Així doncs, el desplaçament de l'embarcació estarà acotat entre els valors 88,5689 i 139,086 t. El desplaçament màxim es correspon a grans iots propulsats a motor, on el desplaçament es major que en velers, i el desplaçament real del veler tindrà un valor més pròxim al límit inferior. Tot i així, es decideix agafar un valor mig entre els límits, considerant un desplaçament total de 113 tones mètriques (113000 kg).

Un cop se sap el desplaçament, es pot estimar també la potència per mètodes estadístics, que serà la compresa entre uns valors acotats pel resultat de les equacions 3.8 i 3.9.

$$\frac{\text{Potència}(\text{hp})}{\text{Tona (t)}} > 10,681 \cdot [\text{Desplaçament (t)}]^{-0,253} \quad \text{Eq. 3.8}$$

$$\frac{\text{Potència}(\text{hp})}{\text{Tona (t)}} < 10,027 \cdot [\text{Desplaçament (t)}]^{-0,1737} \quad \text{Eq. 3.9}$$

Prenent valors compresos entre 3,22 hp i 4,41 hp. En aquest cas per això, com que considerem que el motor serà utilitzat en casos puntuals prendrem un valor pròxim al límit inferior, concretament 3,5 hp/t. Això resulta en una potència total de 395 hp que expressat en kW són **295 kW  $\approx$  300 kW**.

Amb l'eslora de flotació també es pot preveure quina serà la velocitat màxima a motor que podrà tenir el veler. Aquesta velocitat, en nusos, es pot calcular amb l'equació 3.10.

$$v = 2,4 \cdot \sqrt{\text{Eslora de flotació (m)}} = 2,4 \cdot \sqrt{30,4} = 13,20 \text{ nusos} = 6,79 \text{ m/s} \quad \text{Eq. 3.10}$$

Aquesta velocitat màxima serà útil alhora de definir el factor d'utilització del sistema de propulsió, ja que el motor de 300 kW està dimensionat per proporcionar la velocitat màxima, però en la majoria de casos el motor només serà utilitzat per a maniobres a port i per fondejar, on la velocitat serà com a màxim tres nusos.

### Elecció del sistema de propulsió

El motor elèctric desenvolupa el seu parell màxim de forma constant des de velocitat zero fins a la velocitat nominal de funcionament. És a dir, ofereix una elasticitat total en la propulsió. Aquest fet, juntament amb uns valors de rendiment superiors al 95% permet utilitzar l'energia disponible d'una forma més eficient, i sobretot molt més silenciosa, amb un manteniment notablement inferior al que requereix un motor tèrmic tradicional.

#### Model del motor

Actualment el mercat presenta moltes opcions, el fabricant ABB motors, per això, és el que ofereix les millors solucions. Mitjançant l'enllaç<sup>1</sup> de selecció de motors de la seva pàgina web, i introduint com a requisit principal que sigui d'aplicació marina amb refrigeració per aigua, i amb el compliment de les degudes certificacions i normativa d'eficiència, el model que compleix tots els requisits és el de la figura 3.3<sup>2</sup>, amb les següents característiques:

**Fabricant:** ABB

**Model:** M3LP 315 KHA

**Tipus:** Asíncron

**Tensió:** 400 V

**Freqüència, fases:** 50 Hz, 3P

**Potència aparent:** 360 kVA

**Potència real:** 315 kW

**Nombre de pols:** 4

**Velocitat de rotació:** 1485 rev/min

**Factor de potència:** 0,87

**Massa:** 1490 kg

**Eficiència:** 96 %

**Dimensions (Llargada x Amplada x Alçada) (mm):** 1486 x 666 x 858 mm

**Descripció:** El motor M3LP 315 KHA està especialment dissenyat per aplicacions en el sector naval. Té totes les certificacions d'estanquitat d'estabilitat que es requereixen.



**Figura 3.3**

<sup>1</sup> **Enllaç:** <http://www145.abb.com/selection>

<sup>2</sup> **Font:** [https://library.e.abb.com/public/274bc2342adffb78c125784f0037ff20/Cat%20WaterCooledMotors\\_EN%2002-2011.pdf](https://library.e.abb.com/public/274bc2342adffb78c125784f0037ff20/Cat%20WaterCooledMotors_EN%2002-2011.pdf)

### Variador de freqüència

Per a controlar l'arrencada i la velocitat dels motors de gran potència, com és en aquest cas, és necessari un arrencador electrònic. Per l'aplicació que se li vol donar al motor, l'opció més eficient passa per un variador de freqüència. El fabricant ABB ofereix solucions de variació de freqüència en funció motor escollit, i per l'aplicació que se li pretén donar, el model que compleix els requisits és el de la figura 3.4<sup>1</sup>, amb les següents característiques:

**Fabricant:** ABB

**Model:** ACS800-37-0390

**Tensió:** 400 V

**Potència real:** 315 kW

**Intensitat màxima del contactor:** 565 A

**Factor de potència:** 1

**Massa:** 1200 kg

**Dimensions (Llargada x Amplada x Alçada) (mm):**

644 x 1200 x 1860 mm

**Descripció:** Convertidor de freqüència compacte amb filtre d'harmònics integrat. Certificació marina.



**Figura 3.4**

Localització del motor de propulsió a la sala de màquines

---

<sup>1</sup>**Font:**

[https://library.e.abb.com/public/fcad7e1548b9e934c1257b67003616fe/EN\\_ACS800singledrivescatalogRevO.pdf](https://library.e.abb.com/public/fcad7e1548b9e934c1257b67003616fe/EN_ACS800singledrivescatalogRevO.pdf)

### 3.3.6. Hèlix de proa

Les embarcacions de gran eslora sovint disposen d'una hèlice addicional a proa que realitza una força en direcció als costats de l'embarcació, facilitant així la maniobra de ciavoga i les maniobres en situacions d'aigües reduïdes com poden ser els ports.

Aquesta hèlix haurà de disposar d'un motor amb una potència suficient per a vèncer la força lateral que exerceix el vent sobre l'embarcació.

La força del vent es directament proporcional a la superfície de l'obra morta de l'embarcació. Mitjançant el software Autocad es calcula la superfície del casc en la que el vent incideix que és de 116 m<sup>2</sup>.

La pressió que exerceix el vent es pot determinar amb l'equació 3.11.

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho_{aire} \cdot v^2 \quad \text{Eq. 3.11}$$

La densitat de l'aire es considera d'1,3 kg/m<sup>3</sup>, i la velocitat del vent on es localitza l'embarcació (Begur) de 7 a 18 nusos, equivalent a 3,6 m/s i 9,26 m/s respectivament, que correspon a una força 5 a l'escala Beaufort, es considera un cas on la velocitat del vent és considerable. La pressió que resulta de l'expressió és de 55,74 N/m<sup>2</sup>

Això correspon a una força de 6,47 kN. Per a saber la força que haurà de tenir l'hèlix de proa es requerirà un càlcul del parell que fa el vent sobre l'obra morta.

La força del vent es considerarà que s'aplica en el punt mig de l'embarcació, i considerant la popa de l'embarcació el punt d'aplicació de moments es podrà trobar el parell del vent amb l'equació 3.12.

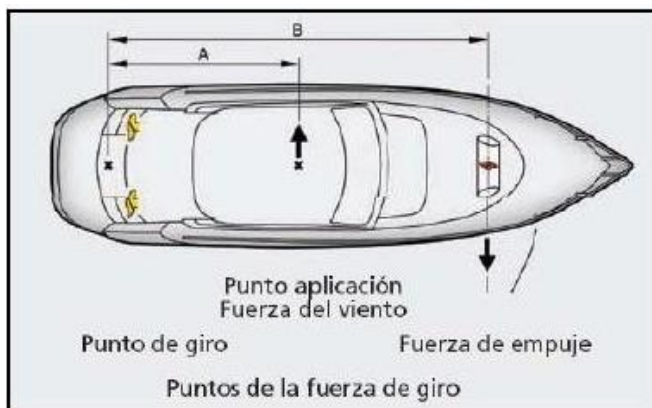
$$T_{vent} = F_{vent} \cdot A = F_{vent} \cdot 12,5 \quad Eq. 3.12$$

Essent  $A$  la distància entre la popa de l'embarcació i el punt d'aplicació de la força del vent.

La força de l'hèlix de proa es determinarà igualant els parells, essent el parell de l'hèlix el resultant d'aplicar l'equació 3.13.

$$T_{hèlix} = F_{hèlix} \cdot B = F_{hèlix} \cdot 25 \quad Eq. 3.13$$

Essent  $B$  la distància entre la popa i el punt d'aplicació de l'hèlix de proa. En la figura 3.5<sup>1</sup> se'n mostra un exemple gràfic.



**Figura 3.5**

Per tant la força de l'hèlix es trobarà mitjançant l'equació 3.14.

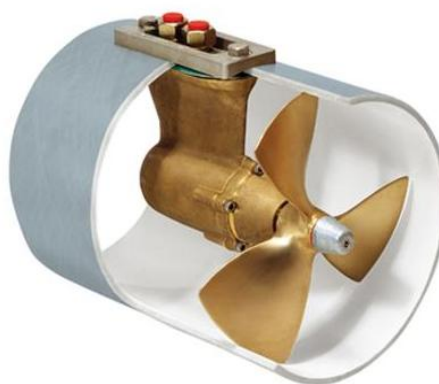
$$F_{hèlix} = \frac{F_{vent} \cdot A}{B} \quad Eq. 3.14$$

<sup>1</sup> **Font:** Proyecto N° 1743. Yate a vela de 30 m. Escuela técnica superior de ingenieros navales de madrid

La força de l'hèlix pren doncs un valor de 3,23 kN equivalent a 329,87 kgf<sup>1</sup>. Si aquesta força que exerceix el vent sobre l'obra morta del casc s'hagués de superar amb un motor elèctric, suposaria potències properes als 40 kW de potència, que suposarien un gran consum i altes prestacions que en aquest cas no es requereixen. Una solució alternativa és utilitzar un motor hidràulic, que amb menys potència genera una força suficient per vèncer la força del vent.

### **Model de l'hèlix de proa**

El model escollit és el BOW410HM de Vetus (figura 3.6<sup>2</sup>). Aquest motor amb una potència de **22 kW** proporciona un empenyiment de 410 kgf. Funciona a 92 l/min a una pressió de 180 bars i té un rendiment del 95%.



**Figura 3.6** BOW410HM del fabricant Vetus

---

<sup>1</sup> 1 kgf = 9,8 N

<sup>2</sup> Font: <http://www.vetusmarine.com/store/p/52-Bow-Thruster-410-kgf-HM.aspx>



### 3.3.7. Molinets per a les àncores

El molinet de proa es dimensionarà del tal forma que sigui capaç de pujar l'àncora en el cas extrem, és a dir, en el cas que es llenci la totalitat de la cadena a l'hora de fondejar. Segons la societat de classificació es requereixen dues àncores quan la força que el vent exerceix sobre l'embarcació és superior als 2,2 kN. Ja hem vist que sense tenir en compte el corrent, el vent exercia una força de 14,4 kN, per tant es requeriran dues àncores. Prenent com a referència embarcacions de característiques similars, es dimensiona el pes de cada àncora amb un valor de 200 kg.

La longitud de la cadena es troba amb l'equació 3.15.

$$L_{cadena} = 30 \cdot \ln(Massa_{àncora}) - 42 \quad Eq. 3.15$$

La cadena corresponent a una àncora d'aquestes dimensions té una massa de 5,7 kg/m, i de l'expressió es troba la seva longitud, que son 116,94 m  $\approx$  120 m. Així doncs sabem el pes de la cadena és 684 kg.

Així doncs, el molinet haurà de ser capaç d'aixecar 200 kg + 684 kg = 884 kg

S'instal·laran doncs dos molinets model Vertical Windlasses X3 de la marca Lofrans amb una potència de **1700 W**, capaços d'aixecar, en condicions màximes, un pes de 1600 kg.

### 3.3.8. Bombes i equips necessaris

En una embarcació d'aquestes dimensions i característiques es requereixen una sèrie d'equips per garantir els mateixos serveis i comoditats que pot tenir un habitatge. Això inclou el subministrament d'aigua dolça i potable.

#### **Bombes per al servei d'aigua dolça**

D'acord amb la normativa del codi tècnic de l'edificació, els cabals mínims a estimar per als serveis es mostren a la taula 3.9.

Servei	Cabal instantani mínim d'aigua freda (dm <sup>3</sup> /s)	Cabal instantani mínim d'aigua calenta (dm <sup>3</sup> /s)
Rentamans	0.05	0.03
Bidet	0.1	0.065
Lavabo	0.1	0.065
Dutxa	0.2	0.1
Banyera	0.3	0.2
Aigüera	0.2	0.1
Rentadora	0.2	0.15
Rentaplats	0.15	0.1
Coberta <sup>1</sup>	0.2	0

**Taula 3.9**

Ara bé, no tots els serveis funcionaran alhora, és per això que s'aplicarà un factor de simultaneïtat, que prendrà el valor resultant de l'equació 3.16.

$$K_f = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \quad \text{Eq. 3.16}$$

Essent  $n$  el nombre de serveis presents a l'embarcació.

El cabal a estimar, doncs, es trobarà mitjançant l'equació 3.17.

$$Q_t = \sum_{i=0}^n Q_i \cdot K_f \quad \text{Eq. 3.17}$$

Essent  $Q_i$  el cabal de cada servei diferent.

<sup>1</sup> Nota: En el cas dels cabals de coberta s'han estimat en funció de cabals d'embarcacions similars

Aquests càlculs queden reflectits a la taula 3.10.

Servei	Quantitat	Cabal instantani d'aigua freda (dm <sup>3</sup> /s)	Cabal instantani d'aigua calenta (dm <sup>3</sup> /s)	Cabal total d'aigua freda (dm <sup>3</sup> /s)	Cabal total d'aigua calenta (dm <sup>3</sup> /s)
Rentamans	11	0,55	0,33	0,096	0,057
Bidet	2	0,2	0,13	0,035	0,023
Lavabo	9	0,9	0,585	0,157	0,102
Dutxa	4	0,8	0,4	0,139	0,07
Banyera	1	0,3	0,2	0,052	0,035
Aigüera	3	0,6	0,3	0,104	0,052
Rentadora	2	0,4	0,3	0,07	0,052
Rentaplats	1	0,15	0,1	0,026	0,017
Coberta	1	0,2	0	0,035	0
Total	34	4,1	2,345	0,714	0,408
Total (l/min)				42,84	24,48
Total (l/h)					4039,2

**Taula 3.10**

Amb un  $K_f$  de 0,174

Per a millorar el sistema i no haver de posar una bomba amb tant de cabal que tindrà un gran pic de corrent a l'arrencar es decideix dividir el servei entre dues bombes, una a proa i l'altra a popa.

El cabal a popa serà el resultant a la taula 3.11.

Serveis popa	Quantitat	Cabal total d'aigua freda (dm <sup>3</sup> /s)	Cabal total d'aigua calenta (dm <sup>3</sup> /s)
Rentamans	7	0,082	0,049
Bidet	2	0,047	0,031
Lavabo	5	0,118	0,077
Dutxa	3	0,141	0,071
Banyera	1	0,071	0,047
Aigüera	0	0	0
Rentadora	0	0	0
Rentaplats	0	0	0
Coberta	1	0,047	0
Total	19	0,506	0,275
Total (l/min)		30,36	16,5
Cabal total bomba (l/hora)			2811,6

**Taula 3.11**

Amb un  $K_f$  de 0,236.

I el cabal de proa el resultant a la taula 3.12:

Serveis de proa	Quantitat	Cabal total d'aigua freda (dm <sup>3</sup> /s)	Cabal total d'aigua calenta (dm <sup>3</sup> /s)
Rentamans	4	0,053	0,032
Bidet	0	0	0
Lavabo	4	0,107	0,069
Dutxa	1	0,053	0,027
Banyera	0	0	0
Aigüera	3	0,16	0,08
Rentadora	2	0,107	0,08
Rentaplat	1	0,04	0,027
Coberta	0	0	0
Total	15	0,52	0,315
Total (l/min)		31,2	18,9
Cabal total bomba (l/hora)			3006

**Taula 3.12**

Amb un  $K_f$  de 0,267.

Així doncs, s'instal·laran dues bombes model WT-2 de la marca Sterwins amb un consum de **900 W** cadascuna.

Per a escalfar l'aigua s'instal·laran dos calefactores instantanis model ECOTHERMO PLUS de la marca CLIMASTAR amb una potència de **3000 W**.

### **Bombes de buidatge**

Per al dimensionament de les bombes de buidatge que ha de tenir l'embarcació es faran servir com a referència les d'embarcacions de característiques similars, tenint aquestes un cabal comprès entre 150 i 175 l/min.

Per tant, la instal·lació tindrà dues bombes amb un cabal de 160 l/min. Es pren com a referència el model S600 de la marca J&N amb una potència de **600 W** cadascuna.

### **Dessalinitzadora i potabilitzadora**

El subministrament d'aigua dolça en l'embarcació requereix, a part de dipòsits amb elevada capacitat per abastir la demanda, una planta dessalinitzadora i potabilitzadora d'aigua. En funció dels dipòsits d'aigua dolça de l'embarcació s'ha de dimensionar la planta. No es coneix la capacitat dels dipòsits d'aigua dolça de l'embarcació, però s'estima una capacitat de generació d'aigua potable de 600-700 l/h, basant-se aquesta capacitat en la capacitat instal·lada en altres embarcacions de dimensions i característiques similars.

Es prendrà com a referència el model H30 400 de la marca HEM amb un consum de **6600 W**.

### **Planta de tractament d'aigües residuals**

La necessitat de tractar les aigües residuals de l'embarcació obliga, per normativa, a instal·lar una planta de tractament d'aigües residuals. Es pren com a referència el model Ecomar 24 de la marca TecnicoMar amb una potència de **1500 W**.

Per al tractament d'aigües fecals cada tassa de WC disposarà d'un triturador de **300 W**. Aquesta aigua anirà posteriorment a la planta de tractament d'aigües residuals, on serà tractada també químicament.

### **Planta hidràulica**

A l'embarcació també serà necessària una planta hidràulica per facilitar l'ús de gigres i enrotlladors de veles, l'hèlix de proa, timó de maniobra i altres equips que aniran amb accionament hidràulic. Per a dur a terme aquestes funcions, es prenen com a referència embarcacions de característiques similars, on es necessita un cabal aproximat de 120 l/min i una pressió de 250 bars.

Amb aquestes especificacions, es tindrà en compte el model PP IV de la marca Reckmann amb una potència de **4800 W**.

### 3.3.9. Equips del pont o sala de control

#### **Pilot automàtic**

Per a navegar durant hores sense necessitat d'estar al timó s'instal·larà un equip de pilot automàtic. S'utilitzarà en casos puntuals i s'estimarà un consum de **840 W** agafant com a referència el model CO13 de BSC Marine.

#### **Equip de radiocomunicacions**

S'instal·larà a bord un equip de radiocomunicacions VHF de **25 W** de potència.

#### **Ordinadors portàtils**

Es suposarà també la instal·lació de dos ordinadors portàtils per tal de dur a terme els càlculs, cadascun amb una potència de **100 W**.

#### **Altres equips**

Es suposarà una potència de **300 W** per a altres equips del pont de control, com poden ser radars, sensors, altres equips de radiocomunicacions, etc.

### 3.3.10. Auxiliars de maniobra i control

Es preveurà també la instal·lació d'una potència de **2300 W**, l'equivalent a 10 A a 230 V, per l'alimentació dels equips auxiliars de maniobra i control.

### 3.3.11. Equips d'emergència i contra incendis<sup>1</sup>

#### **Enllumenat d'emergència**

Per l'enllumenat d'emergència es preveurà una potència equivalent al 10 % de la potència instal·lada per a l'enllumenat en condicions normals. Això equival a una potència de **222 W**.

Aquest enllumenat haurà de ser efectiu durant un mínim de 36 hores des del moment en què es produeix l'emergència.

#### **Detectors de fums**

S'instal·laran detectors de fums amb pila interna pròpia als llocs crítics de l'embarcació per detectar qualsevol possible incendi.

#### **Bomba contra incendis**

La normativa exigeix dues bombes contra incendis. Prenent com a referència embarcacions de característiques similars, el cabal necessari d'aquestes bombes està comprès entre uns valors de 130 i 150 l/min cadascuna.

Per tant, la instal·lació tindrà dues bombes amb un cabal de 150 l/min. Es pren com a referència el model CP 40/100 de la marca Gianneschi amb una potència de **1536 W** cadascuna.

---

<sup>1</sup> **Nota:** Els equips d'emergència i contra incendis formen part de la instal·lació elèctrica, per això s'ha fet menció en el text. Tot i així, el reglament obliga a què tant la font d'alimentació del sistema d'emergència, com la zona on aniran instal·lades les bombes i el generador d'emergència siguin independents de la instal·lació elèctrica principal. És per aquest motiu que no es tindran en compte aquestes càrregues en el dimensionat de la instal·lació.

### 3.4. Càlcul de la potència sol·licitada pel sistema

Per a dissenyar una instal·lació s'ha d'avaluar la demanda màxima de potència que pot sol·licitar el sistema. Un disseny que es basi simplement en la suma aritmètica de totes les càrregues existents a la instal·lació seria erroni, extremadament car i, en aquest cas, inviable.

És per això que s'utilitzaran els conceptes dels **factors d'utilització ( $K_u$ )** i de **simultaneïtat ( $K_s$ )**. Aquests factors tenen un valor comprès entre 0 i 1 i s'utilitzen per trobar la potència màxima que sol·licitarà el sistema.

El factor d'utilització es defineix com un tant per u que representa la potència que consumeix la càrrega respecte a la màxima que pot arribar a consumir.

El factor de simultaneïtat es defineix com el tant per u que representa el nombre de càrregues consumint en relació a la quantitat total. Per exemple, el factor d'utilització de les preses de corrent serà sovint força baix, ja que és força improbable que s'utilitzin totes a la vegada.

Així doncs, per trobar la potència que sol·licitarà el sistema s'utilitzarà l'equació 3.18.

$$\text{Potència sol·licitada} = \text{Potència instal·lada} \cdot k_u \cdot k_s \quad \text{Eq. 3.18}$$

Per a l'estimació dels coeficients de simultaneïtat i utilització es seguirà la ICT-BT-25 del REBT en el cas dels electrodomèstics, l'enllumenat, les preses d'ús general i totes les càrregues equivalents a les d'una llar terrestre.

Per a les altres càrregues, es prendrà com a referència una embarcació de característiques similars.

A més a més, també es tindran en compte dues situacions:

- Navegació a vela
- Navegació a motor

Al ser un motor elèctric, la potència sol·licitada pel sistema variarà notòriament en funció del tipus de navegació.



**Potència sol·licitada**

A la taula 3.13 es mostra un resum de la potència sol·licitada en les diferents situacions.

					Navegació a vela	Navegació a motor
Càrregues	Potència instal·lada (kW)	Ks	Ku	Ku	Potència sol·licitada (kW)	Potència sol·licitada (kW)
Enllumenat interior	2,22	0,75	0,5	0,5	0,83	0,83
Enllumenat exterior	0,42	1	1	1	0,42	0,42
Llums embarcació	0,02	1	1	1	0,02	0,02
Electrodomèstics	23,04	-	-	-	12,7	12,7
Preses de corrent	6,9	0,2	0,5	0,5	0,69	0,69
Bombes i equips	22,6	-	-	-	10,76	10,76
Climatització	8,7	1	0,3	0,3	2,175	2,175
Sistema de propulsió	315	1	0,2	0,6	60	185
Hèlix de proa	22	1	0,5	0,5	11	11
Molinet	3,4	1	0,2	0,2	0,68	0,68
Equips de la sala de control	1,37	-	-	-	0,62	0,62
Auxiliars de maniobra i control	2,3	0,6	0,4	0,4	0,552	0,552
Total	408				100,4	225,4

**Taula 3.13**

Per determinar els coeficients d'utilització del motor de propulsió i guiatge s'ha fet el càlcul sabent que el motor està dimensionat per a una velocitat de creuer màxima de 13 nusos.

Suposant que la potència és directament proporcional a la velocitat, s'han estimat els valors del Ku amb 0,2 i 0,6 equivalents a una velocitat de 3 nusos (navegació màxima permesa a port i durant les maniobres) i 7,8 nusos (velocitat raonable de navegació en relació a les característiques de l'embarcació), respectivament.

Per a la determinació del coeficient d'utilització del motor de guiatge s'ha seguit un procediment similar, estimant que per a la majoria de casos el motor de guiatge haurà de treballar al 50% de la seva potència màxima.

Per a la determinació del coeficient d'utilització del molinet s'ha considerat que treballarà quasi sempre en un rang comprès entre un 0 i un 50% de la capacitat màxima, ja que la majoria de llocs de fondeig habituals la profunditat no supera els 10 m.

Es pot veure doncs, que hi ha una clara diferència entre la potència total instal·lada i l'estimació de la potència total sol·licitada pel sistema en els dos casos, essent la potència sol·licitada de l'ordre d'un 25% de la instal·lada en la navegació a vela i 55% en navegació a motor.

A la taula 3.14 es mostren els factors de simultaneïtat i utilització prenent com a referència els d'una llar mediterrània en el cas dels electrodomèstics.

Electrodomèstics	Potència (W)	Quantitat	Potència total (W)	Ks	Ku	Potència sol·licitada (W)
Frigorífic	160	3	480	1	0,5	240
Rentadora	2300	2	4600	0,5	0,8	1725
Forn	3650	1	3650	1	0,8	2737,5
Microones	1220	2	2440	0,5	0,8	915
Extractor	240	1	240	1	0,8	180
Vitroceràmica	7200	1	7200	1	0,6	4320
Rentaplat	2400	1	2400	1	0,8	1800
Televisor	30	1	30	1	1	30
Assecadora	1000	2	2000	0,5	0,8	750
Total			23040			12698

**Taula 3.14**

Els factors d'utilització dels equips d'informàtica, les bombes i equips pel tractament d'aigua potable i els equips del pont de control s'han estimat prenent com a referència embarcacions de característiques similars. Es mostren a les taules 3.15, 3.16 respectivament.

Informàtica	Potència (W)	Quantitat	Potència total (W)	Ks	Ku	Potència sol·licitada (W)
Ordinadors portàtils	100	2	200	1	0,8	80
Pilot automàtic	840	1	840	1	0,5	420
Radio VHF	25	1	25	1	1	25
Altres equips	300	1	300	1	0,6	90
Total			1365			615

Taula 3.15

Bombes i Equips	Quantitat	Potència (W)	Potència total (W)	Ks	Ku	Potència sol·licitada (W)
Bombes comuns	2	900	1800	1	0,8	1350
Dessalinitzadora i potabilitzadora	1	6600	6600	1	0,5	3300
Planta de tractament d'aigües residuals	1	1500	1500	1	0,5	750
Bombes de buidatge	2	600	1200	0,8	0,8	675
Trituradora per WC	11	300	3300	0,3	0,8	618,75
Calefactors d'aigua semi-instantanis	2	3000	6000	0,7	0,8	2970
Planta hidràulica	1	2200	2200	1	0,5	1100
Total			22600			10764

Taula 3.16

### 3.5. Càlcul de l'energia consumida pel sistema al llarg d'un dia

Un cop trobada la potència que sol·licita el sistema s'estimarà l'energia que consumirà aquest al llarg d'un dia. Per a dimensionar aquesta energia s'utilitzarà el kWh. A la taula 3.17 es mostra l'energia que consumirà el sistema en funció de les hores de funcionament de cada càrrega i en els dos tipus de navegació:

Càrregues	Potència instal·lada (kW)	Ks	Ku	Ku	Navegació a vela	Navegació a motor	Navegació a vela		Navegació a motor	
					Potència sol·licitada (kW)	Potència sol·licitada (kW)	Hores /dia	kWh/dia	Hores /dia	kWh/dia
Enllumenat interior	2,22	0,75	0,5	0,5	0,83	0,83	10	8,3	10	8,3
Enllumenat exterior	0,42	1	1	1	0,42	0,42	2	0,8	2	0,9
Llums embarcació	0,02	1	1	1	0,02	0,02	8	0,2	8	0,2
Electrodomèstics	23,04	-	-	-	12,7	12,7	-	21	-	21
Preses de corrent	6,9	0,2	0,5	0,5	0,69	0,69	3	2,1	3	2,1
Bombes i equips	22,6	-	-	-	10,76	10,76	-	22,2	-	22,2
Climatització	8,7	1	0,3	0,3	2,175	2,175	4	8,7	4	8,7
Sistema de propulsió	315	1	0,2	0,6	60	185	0,1	6	6	360
Hèlix de proa	22	1	0,5	0,5	11	11	0,1	1,1	0,1	1,1
Molinet	3,4	1	0,2	0,2	0,68	0,68	0,1	0,1	0,1	0,1
Equips de la sala de control	1,37	-	-	-	0,62	0,62	-	3	-	3
Auxiliars de maniobra i control	2,3	0,6	0,4	0,4	0,552	0,552	24	13,2	24	13,2
<b>Total</b>	<b>408</b>				<b>100,4</b>	<b>225,4</b>		<b>87</b>		<b>441</b>

**Taula 3.17**

A les taules 3.18, 3.19 i 3.20 es mostren els consums d'energia detallats dels electrodomèstics, les bombes i equips necessaris i els equips informàtics i d'instrumentació d'ajuda a la navegació.

Electrodomèstics	Potència (W)	Quantitat	Potència total (W)	Ks	Ku	Potència sol·licitada (W)	Hores/dia <sup>1</sup>	kWh/dia
Frigorífic	160	3	480	1	0,5	240	24	5,8
Rentadora	2300	2	4600	0,5	0,8	1725	1	1,8
Forn	3650	1	3650	1	0,8	2737,5	1	2,8
Microones	1220	2	2440	0,5	0,8	915	0,2	0,2
Extractor	240	1	240	1	0,8	180	2	0,4
Vitroceràmica	7200	1	7200	1	0,6	4320	1	4,4
Rentaplats	2400	1	2400	1	0,8	1800	2	3,6
Televisor	30	1	30	1	1	30	4	0,2
Assecadora	1000	2	2000	0,5	0,8	750	2	1,5
Total			23040			12698		21

**Taula 3.18**

Informàtica	Potència (W)	Quantitat	Potència total (W)	Ks	Ku	Potència sol·licitada (W)	Hores/dia	kWh/dia
Ordinador portàtil	100	2	200	1	0,8	80	4	0,4
Pilot automàtic	840	1	840	1	0,5	420	4	1,7
Radio VHF	25	1	25	1	1	25	5	0,2
Altres equips	300	1	300	1	0,6	90	5	0,5
Total			1365			615		3

**Taula 3.19**

<sup>1</sup> Nota: Les hores de consum que apareixen equivalents a les càrregues d'una vivenda, s'han estimat prenent com a model la d'una mediterrània.

Bombes i Equips	Quantitat	Potència (W)	Potència total (W)	Ks	Ku	Potència sol·licitada (W)	Hores/dia	kWh/dia
Bombes comuns	2	900	1800	1	0,8	1350	2	2,7
Dessalinitzadora i potabilitzadora	1	6600	6600	1	0,5	3300	3	9,9
Planta de tractament d'aigües residuals	1	1500	1500	1	0,5	750	2	1,5
Bombes de buidatge	2	600	1200	0,8	0,8	675	1	0,7
Trituradora per WC	11	300	3300	0,3	0,8	618,75	1	0,7
Calefactores d'aigua semi-instantanis	2	3000	6000	0,7	0,8	2970	1,5	4,5
Planta hidràulica	1	2200	2200	1	0,5	1100	2	2,2
Total			22600			10764		22,2

Taula 3.20

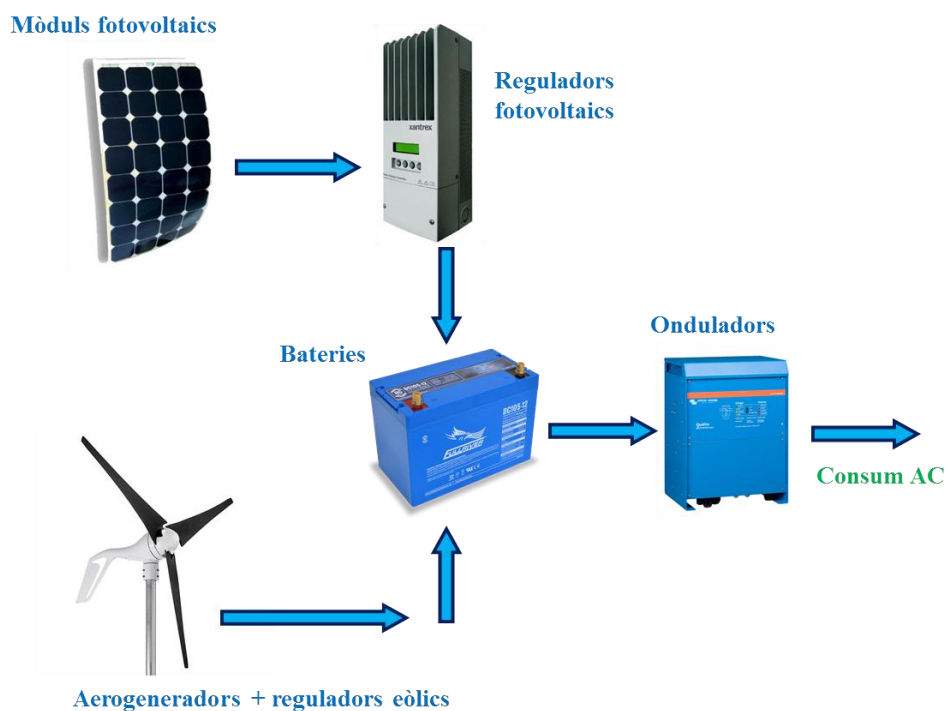
### 3.6. Generació d'energia

En el sistema es considerarà una generació d'energia procedent de fonts renovables. Al ser una embarcació, es podrà aprofitar l'energia procedent del vent, amb aerogeneradors situats en llocs on no impedeixin la maniobrabilitat del buc ni la seguretat de les persones, i l'energia procedent del sol, amb mòduls fotovoltaics.

Aquest tipus d'instal·lació es coneix com a instal·lació mixta, i està formada per aquest conjunt d'elements:

- Mòduls fotovoltaics
- Regulador fotovoltaic
- Aerogeneradors
- Regulador eòlic
- Bateria
- Ondulador CC/CA

Un exemple d'esquema de connexió seria el que apareix a la figura 3.7.



**Figura 3.7**

### 3.6.1. Energia solar fotovoltaica

Els mòduls fotovoltaics estan formats per materials semiconductors que capten els fotons transmesos per la llum solar transformant-los en un corrent continu d'electrons, és a dir, en electricitat.

Com ja s'ha dit, la restricció principal per al disseny de l'instal·lació solar fotovoltaica és l'espai disponible, que és limitat degut a les dimensions del buc.

#### **Dades de partida**

Mitjançant el software autocad s'ha procedit a calcular l'àrea disponible a l'embarcació per instal·lar-hi els mòduls fotovoltaics. Aquesta àrea s'ha dividit en tres zones, amb les seves corresponents àrees útils per a l'instal·lació dels mòduls fotovoltaics, tal i com es mostra a la taula 3.21.

Zona	Àrea plaques solars (m <sup>2</sup> )
Proa	9
Popa	8
Centre	22
Total	39

**Taula 3.21**

La distribució d'aquestes àrees es mostra en el plànol número 5 de l'apartat 9.

A més a més, és d'especial importància considerar també les condicions meteorològiques de la zona on es vol estudiar el sistema, ja que tant les hores de sol pic (HPS), com la irradiància H (kWh/m<sup>2</sup>) són variables decisives a l'energia que la instal·lació és capaç de generar. Mitjançant una aplicació online gratuïta, PVGIS<sup>1</sup> es poden trobar aquests paràmetres.

<sup>1</sup> **Enllaç a l'aplicació:** <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>



Escollint un angle d'inclinació i una zona determinada, l'aplicació subministra les dades de la radiació solar  $H$  (kWh/m<sup>2</sup>) en funció del mes de l'any. En ser una instal·lació mòbil, és difícil considerar un angle d'incidència de radiació, per tant, es considerarà un angle de 0°, és a dir, completament horitzontal.

Les hores de sol pic HPS (h), definides com les hores de llum solar per dia, es poden trobar amb la divisió de la irradiació subministrada per l'aplicació en funció de l'angle,  $H$  (kWh/m<sup>2</sup>), entre la radiació solar de referència  $I$  (1 kW/m<sup>2</sup>), tal i com es mostra a l'equació 3.19.

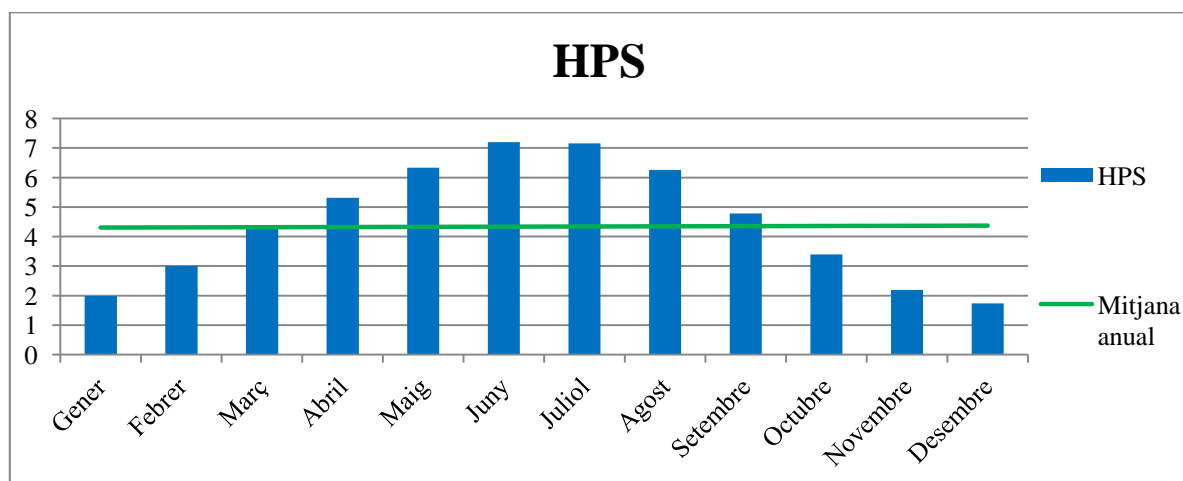
$$HPS = \frac{H_{\alpha}}{I_{\text{referència}}} \quad \text{Eq. 3.19}$$

A la taula 3.22 es mostren les hores de sol pic (HPS) de cada mes de l'any.

Mes	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre	Mitjana Anual
HPS	1,99	3	4,37	5,31	6,33	7,2	7,16	6,26	4,78	3,4	2,19	1,74	4,48

**Taula 3.22**

En representació gràfica, en el gràfic 3.1.



**Gràfic 3.1**

### **Tipus de mòduls fotovoltaics**

El següent pas és l'elecció d'un mòdul fotovoltaic. En el mercat existeixen principalment tres tipus de plaques fotovoltaiques:

Silici amorf: Com a avantatges és que funciona amb una llum difusa baixa, fins i tot en dies ennuvolats. El seu principal inconvenient és el seu rendiment a ple sol, del 5% al 7%.

Silici monocristal·lí: Com a avantatge principal, tenim el seu elevat rendiment, que es mou entre el 14% i el 20%, el principal inconvenient és el seu elevat cost.

Silici policristal·lí: Tenen un rendiment que es mou entre el 10% i el 12% i el preu és més econòmic que el silici monocristal·lí, treballen millor en condicions de poca llum.

### **Model escollit**

A més a més, aquests mòduls aniran instal·lats a coberta on la superfície no és 100% llisa, i en zones on el pas de persones és habitual. Per tant, encara que aquests dos requisits encareixin el preu, hauran de ser flexibles i resistent al pas de persones.

Un model que compleix els requisits és el de la figura 3.8<sup>1</sup>, amb les següents característiques:

**Fabricant:** SUNPOWER

**Model:** Mòdul fotovoltaic flexible 120 W 12 V

**Potència nominal:** 120 W

**Tipus de cèl·lula:** Monocristal·lina

**Dimensions (LxAxP):** 540 x1305x3 mm

**Eficiència del mòdul:** 20%

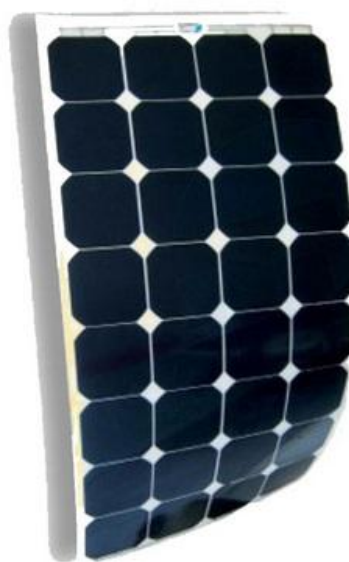
**Tensió nominal:** 12 V

**Pes:** 1,8 kg

**Tensió màxima potència ( $V_{mp}$ ):** 22 V

**Tensió circuit obert ( $U_{oc}$ ):** 26,4 V

**Corrent de curtcircuit ( $I_{sc}$ ):** 5,87 A



**Figura 3.8**

<sup>1</sup> **Font:** <https://autosolar.es/panel-solar/modulo-solar-fotovoltaico-flexible-120w-12v>

El nombre de panells solars a instal·lar es calcularà dividint l'àrea total disponible entre l'àrea de cada mòdul fotovoltaic, els càlculs queden a la taula 3.23.

Zona	Àrea plaques solars (m <sup>2</sup> )	Núm. panells solars
Proa	9	13
Popa	8	12
Centre	22	31
Total	40	56 <sup>1</sup>

**Taula 3.23**

### **Càlcul de l'energia generada pels mòduls fotovoltaics**

L'energia total que és capaç de generar tota la instal·lació es pot calcular amb l'equació 3.20.

$$E_{Generada/dia} = N_T \cdot P_{MPP} \cdot HPS \cdot PR \quad Eq. 3.20$$

On:

$N_T$  son el nombre de m<sup>2</sup> de panells solars instal·lats.

$P_{MPP}$  és la potència pic del mòdul solar fotovoltaic que s'utilitza

$HPS$  són les hores de sol pic mitjanes que hi ha en un dia calculades a partir de la taula de radiacions.

$PR$  el factor global de funcionament que varia entre 0,85 i 0,95. S'agafarà el valor de 0,90 per defecte.

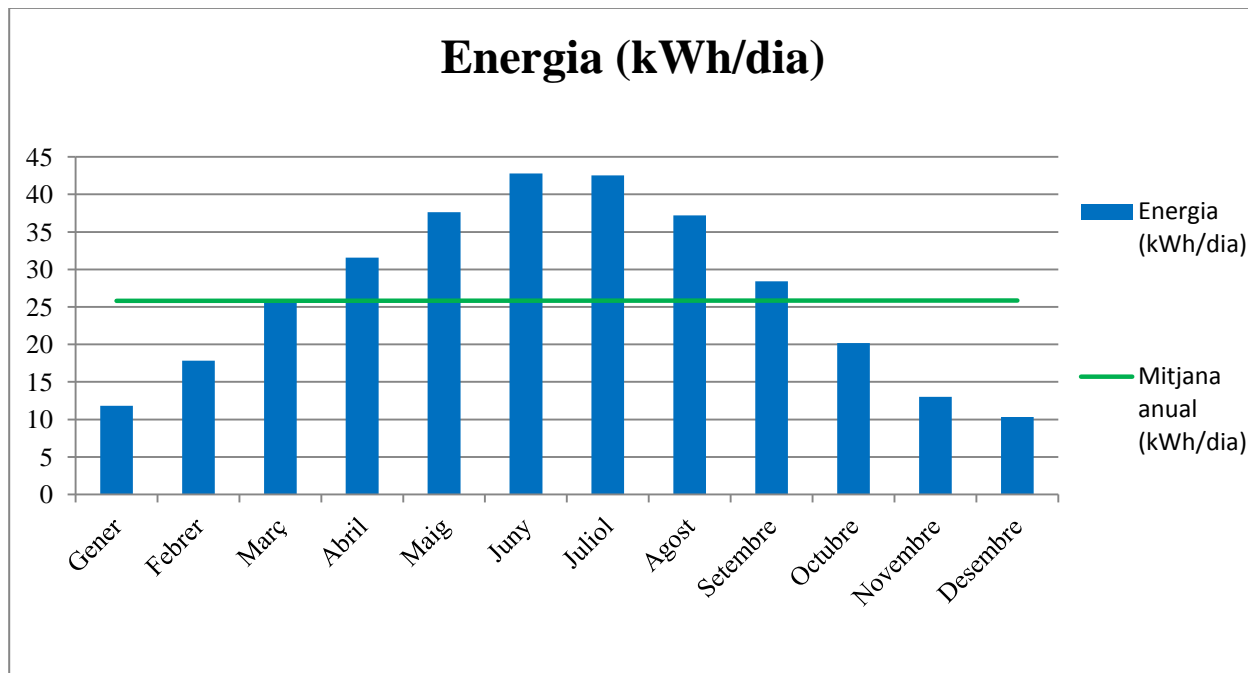
Així doncs, l'energia que generarà el sistema en funció del mes de l'any es resumeix a la taula 3.24.

Mes	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre	Mitjana Anual
HPS	1,99	3	4,37	5,31	6,33	7,2	7,16	6,26	4,78	3,4	2,19	1,74	4,48
Energia (kWh/dia)	11,83	17,82	25,96	31,55	37,61	42,77	42,54	37,19	28,4	20,2	13,01	10,34	26,62

**Taula 3.24**

<sup>1</sup> Nota: El càlcul s'ha realitzat amb una simple divisió d'àrees, no tenint en compte la geometria de l'àrea on aniran instal·lats en concordança amb la geometria del panell escollit.

En representació gràfica, en el gràfic 3.2.



**Gràfic 3.2**

Com es pot veure, hi ha una diferència notable entre l'energia que els mòduls fotovoltaics són capaços de generar a la temporada d'estiu (juliol 54,13 kWh/dia) i a l'hivern (desembre 13,16 kWh/dia).

### **Regulador de càrrega fotovoltaic**

Existeixen dos tipus de reguladors:

**Reguladors PWM (Pulse Width Modulation) convencionals:** És un regulador senzill, que actua com a enllaç entre els mòduls fotovoltaics i la bateria. Aquest regulador obliga als mòduls a treballar a la tensió de la bateria, que, en conseqüència, comporta pèrdues perquè els mòduls no poden treballar a la seva tensió màxima.

**Reguladors MPPT (Maximum Power Point Tracking):** Aquest regulador, a diferència del PWM convencional, porta incorporat un seguidor que permet que els mòduls treballin a la seva màxima potència i, en conseqüència, augmenta el rendiment.

### Dimensionament del regulador

Per dimensionar el regulador es necessita trobar la intensitat que haurà de suportar, així com també la tensió d'entrada. Per al càlcul de corrent del regulador es fa servir l'equació 3.21.

$$I_{regulador} = 1,15 \cdot I_{sc} \cdot N_p \quad \text{Eq. 3.21}$$

Essent:

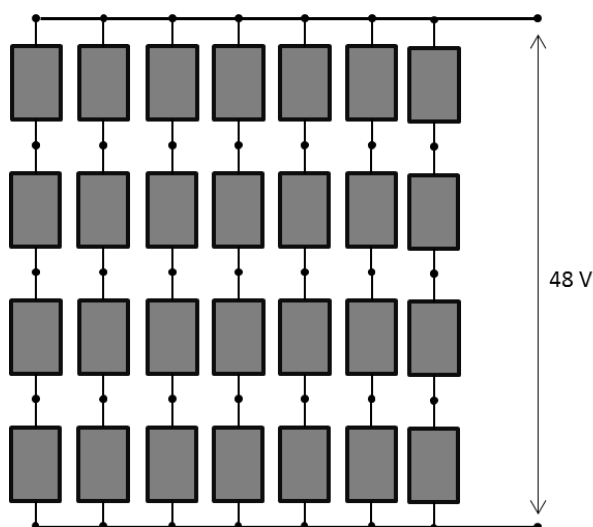
$I_{regulador}$  el corrent que ha de suportar el regulador.

$I_{sc}$  el corrent de curtcircuit de cada mòdul fotovoltaic.

$N_p$  el nombre de branques de mòduls fotovoltaics connectades en paral·lel.

1,15 marge de seguretat del 15% per evitar que el regulador treballi sempre a potencia màxima.

Per trobar el nombre de branques que treballen en paral·lel, s'ha de dissenyar com serà la connexió dels mòduls fotovoltaics, considerant un nombre de 56 mòduls. A causa de l'elevat nombre, aquest consideraran en dos blocs, coincidint amb babord i estribord de l'embarcació. La tensió en corrent continu s'escull de 48 V, i, per tant, hi haurà set branques en paral·lel, de quatre mòduls fotovoltaics en sèrie, tal com es mostra en la figura 3.9.



**Figura 3.9**

Així doncs, cada regulador haurà de suportar una intensitat de 47,25 A, tal com mostra l'equació 3.22.

$$I_{regulador} = 1,15 \cdot 5,87 \cdot 7 = 47,25 \text{ A} \quad \text{Eq. 3.22}$$

Un model que compleix els requisits és el de la figura 3.10<sup>1</sup>, amb les següents característiques:

**Fabricant:** Schneider Xantrex

**Model:** Regulador MPPT-60 A

**Intensitat nominal:** 60 A

**Consum:** 2,5 W

**Dimensions (LxAxP):** 483x229x350 mm

**Tensió nominal:** 48 VDC

**Màxima tensió d'entrada:** 140 VDC

**Màxima tensió de les plaques en circuit obert:** 150 VDC

**Pes:** 4,8 kg

**Corrent de curtcircuit(Isc):** 80 A



**Figura 3.10.**

<sup>1</sup> **Font:** [https://autosolar.es/regulador-de-carga/regulador-mppt-60-schneider-xantrex\\_precio](https://autosolar.es/regulador-de-carga/regulador-mppt-60-schneider-xantrex_precio)

Així doncs, l'esquema de connexió serà el de la figura 3.11.

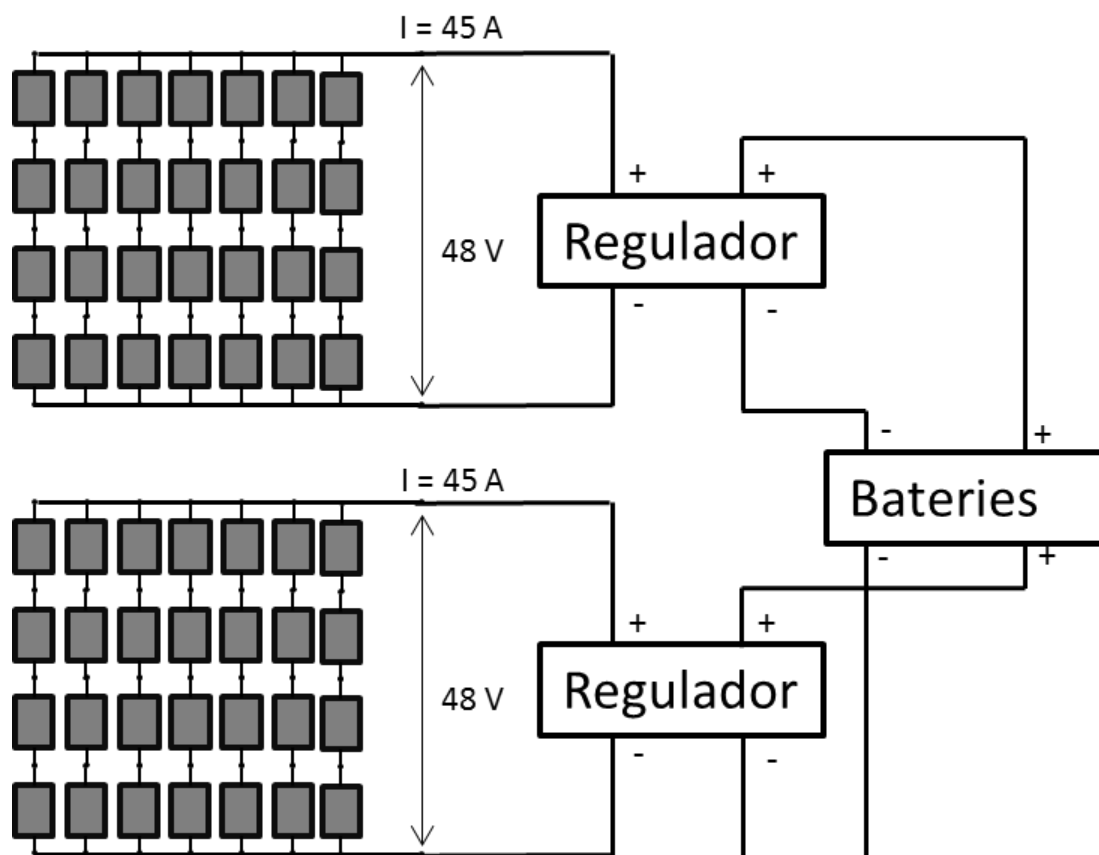


Figura 3.11

### 3.6.2. Energia eòlica

Una forma d'energia que molt bé es pot aprofitar en l'embarcació és la força del vent. Aquest, a part de propulsar el veler mitjançant les veles també es pot aprofitar la seva força per generar electricitat mitjançant aerogeneradors.

Els generadors han d'estar situats en llocs on no afectin la seguretat humana ni la maniobrabilitat de l'embarcació. Aquests punts estan situats a popa, als laterals, tal com es mostra en el plànol plànol número 6 de l'apartat 9.

#### **Dades de partida**

Per calcular l'energia eòlica que es podrà generar hem de trobar primer quina serà la velocitat del vent en la zona on emplaçarem majoritàriament el nostre veler. Com ja s'ha dit, aquest està previst de tenir emplaçament prop de Begur, a la Costa Brava.

A través de les dades estadístiques proporcionades per l'aplicació Windfinder<sup>1</sup> es pot conèixer la mitjana mensual de la velocitat del vent.

Ara bé, aquesta velocitat del vent és la que hi haurà a l'alçada on s'ha mesurat, és a dir, aquesta velocitat és la corresponent a 0 m, que és on està situada l'estació de mesura. Per trobar la velocitat del vent on aniran instal·lats els aerogeneradors s'haurà d'aplicar l'equació 3.23.

$$V_h = V_a \cdot \left(\frac{H_h}{H_a}\right)^\alpha \quad \text{Eq. 3.23}$$

On:

$V_h$  és la velocitat del vent a l'altura on s'instal·larà l'aerogenerador

$V_a$  és la velocitat del vent a l'altura on l'estació fa la mesura, en aquest cas, a nivell de mar.

$H_h$  és l'altura on s'instal·larà l'aerogenerador, 5 m

$H_a$  és l'altura on s'ha fet la medició, en aquest cas, 0 m

$\alpha$  és l'exponent de Hellman, que per a mar o costa pren el valor de 0,14

---

<sup>1</sup> **Enllaç a l'aplicació:** [http://es.windfinder.com/windstatistics/cabo\\_begur](http://es.windfinder.com/windstatistics/cabo_begur)

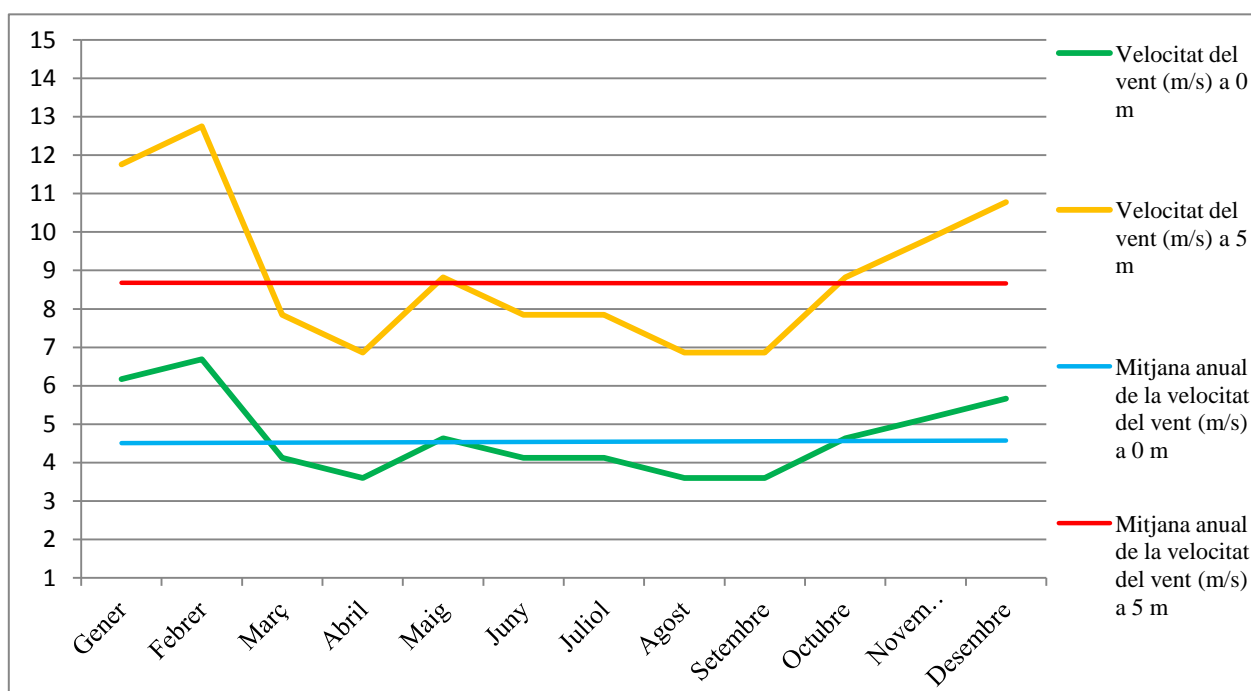


Així doncs, a la taula 3.25 es mostren les estadístiques del vent en funció de l'any.

Mes	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre	Mitjana Anual
Velocitat del vent (nudos) a 0	12	13	8	7	9	8	8	7	7	9	10	11	9,08
Velocitat del vent (m/s) a 0 m	6,17	6,69	4,12	3,6	4,63	4,12	4,12	3,6	3,6	4,63	5,14	5,66	4,67
Velocitat del vent (m/s) a 5 m	11,76	12,75	7,85	6,86	8,82	7,85	7,85	6,86	6,86	8,82	9,79	10,78	8,9

**Taula 3.25**

En representació gràfica, en el gràfic 3.3.



**Gràfic 3.3**

### Model de l'aerogenerador

Un model que compleix els requisits és el de la figura 3.12<sup>1</sup>, amb les següents característiques:

**Fabricant:** Air Marine

**Model:** Silentwind 400 +, with built-in regulator

48V/420W

**Diàmetre del rotor:** 1,15 m

**Pes:** 10 kg

**Velocitat del vent a la potència màxima:** 14 m/s

**Màxima velocitat del vent admesa:** 50 m/s

**Velocitat d'arrencada:** 2,5 m/s

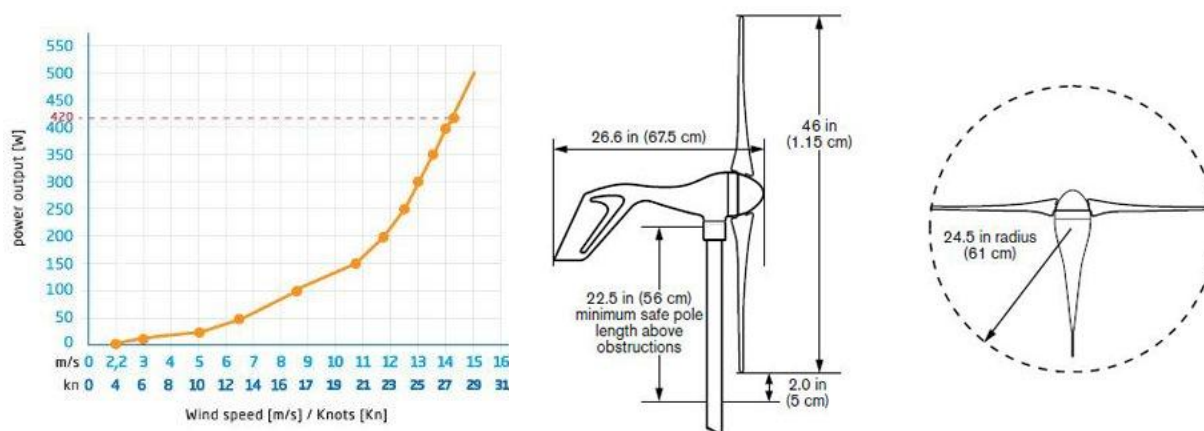
**Rendiment:** 30%

**Descripció:** Aerogenerador dissenyat per aplicacions marines, amb una capacitat de generació d'energia provada al laboratori de 210 Ah/dia a 48 V en zones de forts i constants vents.



**Figura 3.12**

A la figura 3.13<sup>2</sup> s'observen les dimensions i la corba potència en funció de la velocitat del vent.



**Figura 3.13**

<sup>1</sup> Font: <http://www.bluemarinestore.com/silentwind-400-wind-generator/>

<sup>2</sup> Font: <http://www.bluemarinestore.com/silentwind-400-wind-generator/>

**Càlcul de l'energia generada pels aerogeneradors**

L'energia del vent és la seva energia cinètica, és a dir, que varia en funció de la velocitat d'aquest. La potència del vent, doncs, és l'energia cinètica dividida per unitat de temps, tal com es mostra a l'equació 3.24.

$$Potència_{vent} = \frac{\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2}{t} = \frac{\rho \cdot A \cdot v^3}{2} \quad Eq. 3.24$$

On:

$\rho$  és la densitat del vent, que pren el valor de 1,225 kg/m<sup>3</sup>

$A$  és l'àrea d'escombrat de l'aerogenerador, en aquest cas 4,15 m<sup>2</sup>. Aquesta àrea és la corresponent a la llargada d'una pala al quadrat i multiplicada pel nombre pi.

$v$  és la velocitat del vent en m/s

L'energia generada, és el resultat d'aplicar-hi el rendiment subministrat pel fabricant de l'aerogenerador, tal i com mostra a l'equació 3.25.

$$Energia_{generada} = t \cdot P_{vent} \cdot \eta_{aerogenerador} \quad Eq. 3.25$$

On:

$t$  és el temps, en aquest cas es pren el valor de 24 h

$P_{vent}$  és la potència del vent

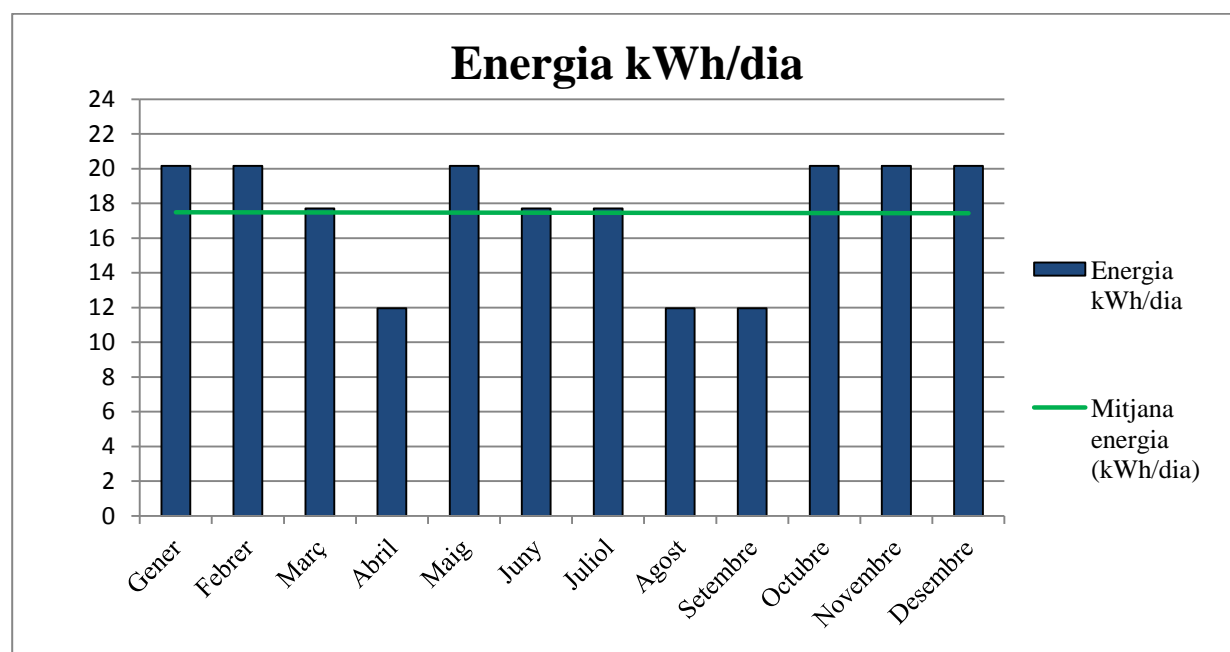
$\eta_{aerogenerador}$  és el rendiment de l'aerogenerador, en aquest cas un 30%

Així doncs els valors de la potència del vent, la potència que aprofita el generador i l'energia generada queden resumits a la taula 3.26.

Mes	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre	Mitjana Anual
Potència generada (kW) pel vent a 5 m	4,14	5,27	1,23	0,83	1,75	1,23	1,23	0,83	0,83	1,75	2,39	3,19	2,06
Potència generada (kW) aerogeneradors 5m	0,84	0,84	0,738	0,498	0,84	0,74	0,74	0,5	0,498	0,84	0,84	0,84	0,73
Energia generada (kWh/dia) aerogeneradors 5 m	20,16	20,16	17,72	11,96	20,2	17,7	17,7	12	11,96	20,16	20,16	20,16	17,5
<b>Total (kWh/dia)</b>	<b>20,16</b>	<b>20,16</b>	<b>17,72</b>	<b>11,96</b>	<b>20,2</b>	<b>17,7</b>	<b>17,7</b>	<b>12</b>	<b>11,96</b>	<b>20,16</b>	<b>20,16</b>	<b>20,16</b>	<b>17,5</b>

**Taula 3.26**

En representació gràfica, en el gràfic 3.4.



**Gràfic 3.4**

**Regulador eòlic**

El regulador haurà de suportar una intensitat màxima en corrent continu de 8,75 A. Tal com es mostra a l'equació 3.26

$$I_{m\grave{a}x} = \frac{420}{48} = 8,75 \text{ A} \quad \text{Eq. 3.26}$$

Tot i així, el model Air X Marine Silent wind, with built-in regulator 48V/420 W ja porta un regulador de càrrega incorporat.

### 3.7. Dimensionament del banc de bateries

L'energia generada tant pels mòduls fotovoltaics com pels aerogeneradors instal·lats a bord pot seguir dos camins: consumir-se en el moment o acumular-se. Ara bé, l'energia consumida al llarg d'un dia es pot veure que és superior a l'energia generada pel sistema amb fonts renovables. Això es soluciona amb el banc de bateries, on el dèficit d'energia diària pot ser compensat amb l'energia acumulada.

A la taula 3.27 s'observen els valors de l'energia generada i la consumida, tant en navegació a vela, com en navegació a motor.

Mes	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre	Mitjana anual
Consum navegació a vela (kWh/dia)	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87
Consum navegació a motor (kWh/dia)	440,8	440,8	441	441	441	441	441	441	440,8	440,8	440,8	440,8	440,8
Generació d'energia (kWh/dia)	31,99	37,98	43,7	43,5	57,8	60,5	60,3	49,2	40,36	40,36	33,17	30,5	44,12

**Taula 3.27**

Per aquest motiu fa inviable que les bateries alimentin totes les càrregues del sistema, ja que si no, es necessitaria una quantitat de bateries massa gran, i això en una embarcació es fa inviable per pes i per espai.

Si observem la taula 3.15 de l'apartat 3.5, observem que les càrregues amb més potència són:

- Sistema de propulsió: 315 kW
- Hèlix de proa: 22 kW
- Bombes i equips: 21 kW
- Electrodomèstics: 23 kW
- Climatització: 8,7 kW

Per aquest motiu, veient la màxima capacitat de generació d'energia renovable, es decideix que el banc de bateries no alimentin les càrregues següents:

- Sistema de propulsió: 315 kW
- Hèlix de proa: 22 kW

Aquestes càrregues aniran alimentades en el sistema de generació alternatiu, de combustible fòssil.

Si observem l'energia consumida pel sistema excloent aquestes càrregues, obtenim els valors de la taula 3.28.

Càrregues	Potència instal·lada (kW)	Ks	Ku	Ku	Potència sol·licitada (kW)	Hores/dia	kWh/dia
Enllumenat interior	2,22	0,75	0,5	0,5	0,83	10	8,3
Enllumenat exterior	0,42	1	1	1	0,42	2	0,8
Llums embarcació	0,02	1	1	1	0,02	8	0,2
Electrodomèstics	23,04	-	-	-	12,7	-	21
Preses de corrent	6,9	0,2	0,5	0,5	0,69	3	2,1
Bombes i equips	22,6	-	-	-	10,76	-	22,2
Climatització	8,7	1	0,3	0,3	2,175	4	8,7
Molinet	3,4	1	0,2	0,2	0,68	0,1	0,1
Equips de la sala de control	1,37	-	-	-	0,62	-	3
Auxiliars de maniobra i control	2,3	0,6	0,4	0,4	0,552	24	13,2
<b>Total</b>	<b>71</b>				<b>30</b>		<b>79,6</b>

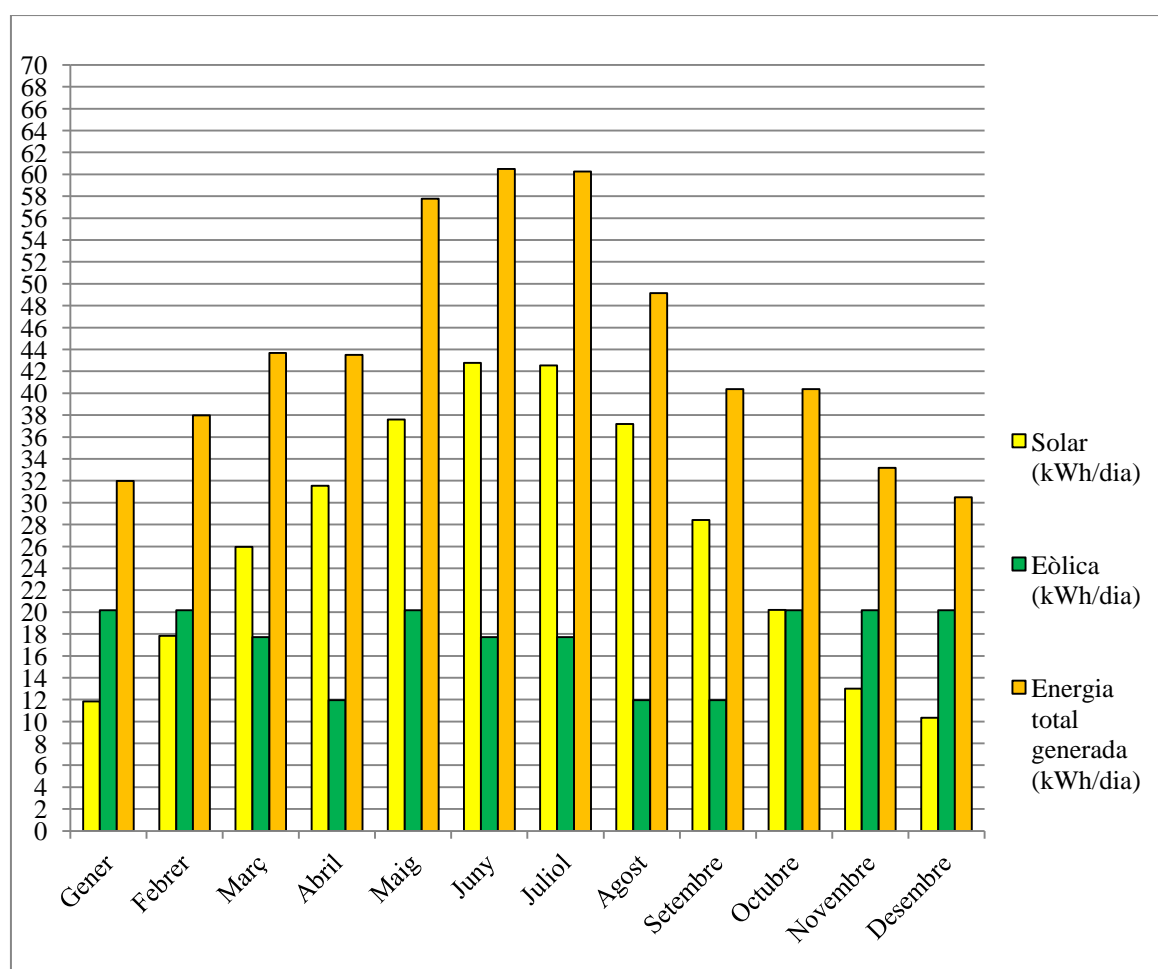
**Taula 3.28**

On l'energia consumida per aquestes càrregues al llarg d'un dia no arriba als 60 kWh. Ara bé, Aquests valors poden fluctuar en funció de l'època de l'any i del dia, per tant se li aplicarà un marge de seguretat d'un 20 % per tenir en compte aquestes variacions.

Per tant, l'energia consumida corregida al llarg d'un dia serà el resultat d'aplicar l'equació 3.27.

$$E_{c\text{orregida}} = 1,2 \cdot 79,6 = \mathbf{95,52 \text{ kWh/dia}} \quad \text{Eq. 3.27}$$

Si observem ara el gràfic 3.5 del balanç de generació procedent de fonts renovables al llarg de l'any:



Gràfic 3.5



Veiem que en els mesos d'estiu, de l'abril al setembre, és on la generació d'energia és més alta; Amb un rang de valors compresos entre 40 i 60 kWh/dia mentre que els mesos d'hivern, d'octubre a març, els valors es mouen en un rang inferior, entre 30 i 40 kWh/dia.

Tenint en compte que l'embarcació tindrà el seu ús principal en els mesos d'estiu, es dimensionarà tenint en compte la generació d'energia aquests mesos.

Un factor també important a considerar, és que en el càlcul de la generació d'energia procedent de fonts renovables no s'ha tingut en compte els factors ambientals que poden alterar aquesta generació d'energia, com és un dia de poc vent o ennuvolat que provocaria que la generació d'energia es veiés notablement alterada. Per compensar aquest factor aleatori es considerarà un factor corrector del 25 % en la generació d'energia per a què compensi el factor aleatori, tal com es mostra a l'equació 3.28.

$$Eg_{corregida} = 0,75 \cdot \text{Energia generada} \quad \text{Eq. 3.28}$$

Si teniem en compte aquest factor, la producció d'energia corregida ( $Eg_{corregida}$ ) en els mesos d'estiu és la present a la taula 3.29.

	Mes	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre
Solar	Energia (kWh/dia)	23,7	28,3	32	32	27,9	21,3
Eòlica	Energia (kWh/dia)	9	15,2	13	13,3	9	9
Total	Energia (kWh/dia)	32,7	43,5	45	45,3	36,9	30,3

**Taula 3.29**

Veiem que el valor més petit és al mes de setembre, en el que la capacitat de generació arriba a 30 kWh/dia.

Per al disseny de les bateries s'haurà de considerar el mes de l'any que menys energia es generi, per no tenir un dèficit d'energia que no es pugui compensar amb l'acumulació.

### **Tipus de bateries**

Per a l'elecció de les bateries és important tenir en compte alguns conceptes:

Capacitat de la bateria: Mesura expressada en ampers per hora (Ah) que representa la seva capacitat d'acumulació.

Profunditat de descàrrega: és el percentatge de la seva capacitat d'acumulació que podem descarregar sense malmetre-la. Normalment en les bateries conegudes com bateries de descàrrega profunda arriben a uns valors entre el 60 i 80 %.

Cicles d'una bateria: Quantitat de vegades que podem realitzar un cicle de càrrega i descàrrega, normalment ronden uns valors de 1500 o 2000 cicles

Segons el tipus de bateries aptes per l'ús que se li vol donar:

Bateries monobloc: Són molt versàtils i permeten una gran capacitat d'acumulació. L'inconvenient és l'emissió de gasos nocius.

Bateries de gel: L'electròlit està immobilitzat, no emeten gasos. L'inconvenient és el seu elevat pes i que estan pensades per petites capacitats.

Bateries d'AGM: Presenten els mateixos avantatges que les bateries de gel sense cap desavantatge, però el seu preu és elevat.

Pel fet de ser una embarcació, fa que les condicions ambientals i de l'entorn que han de suportar les bateries siguin molt restrictives. S'ha de tenir en compte que l'ambient serà corrosiu i hi haurà vibracions i moviment.

En aquest cas, tot i ser les que presenten un cost més elevat, les bateries d'AGM tenen les millors prestacions per l'ús que se'ls hi ha de donar.

**Càlcul de la capacitat necessària del banc de bateries**

Un requeriment del sistema, és que ha de tenir tres dies d'autonomia, i com ja s'ha comentat, degut a les restriccions d'espai i pes es dimensionarà el banc de bateries tenint present únicament els dies d'estiu, on es donarà un ús més intensiu.

La capacitat necessària es calcularà tenint present l'energia corregida requerida pel sistema i la generació d'energia aplicant el factor corrector. Si a més a més volem que tingui una autonomia mínima de tres dies i una profunditat de descàrrega del 70%, la capacitat d'acumulació en Ah tenint en compte un 20% de marge de seguretat es calcularà amb l'equació 3.29.

$$Capacitat_{Ah} = \frac{(E_{corregida} - E_{gcorregida})}{\eta_{ondulador}} \cdot D_{autonomia} \cdot 1000 \cdot 1,2 = 7640 \text{ Ah} \quad Eq. 3.29$$

$$P_{descàrrega} \cdot U \cdot \eta_{bateries} \cdot \eta_{conductors}$$

On:

$E_{corregida}$  és l'energia consumida corregida, 95,52 kWh/dia

$E_{gcorregida}$  és l'energia generada corregida, 30,3 kWh/dia

$D_{autonomia}$  són els dies mínims d'autonomia, 3

$P_{descàrrega}$  és la profunditat màxima de descàrrega que admet la bateria, que es considera 0,7

$U$  és la tensió de les bateries, 48 V

$\eta_{ondulador}$  és el rendiment de l'ondulador, que es considerarà igual a 0,96

$\eta_{bateries}$  és el rendiment de les bateries, que es considerarà igual a 0,95

$\eta_{conductors}$  és el rendiment dels conductors, que es considerarà igual a 1

### Localització de les bateries

Les bateries s'instal·laran a la sala de màquines. Segons la societat de classificació Germanischer Lloyd's Register, aquestes han d'estar aïllades en sales de bateries i amb un cabal de circulació d'aire mínim per tal d'evitar acumulacions de gasos nocius. Però si les bateries estan segellades i/o no emeten gasos no es requereix sala de bateries.

En la figura 3.14 de la sala de màquines, es mostra la zona on aniran localitzades les bateries. Com es veu hi ha una limitació d'espai, per tant no hi ha espai suficient per allotjar una sala de bateries.

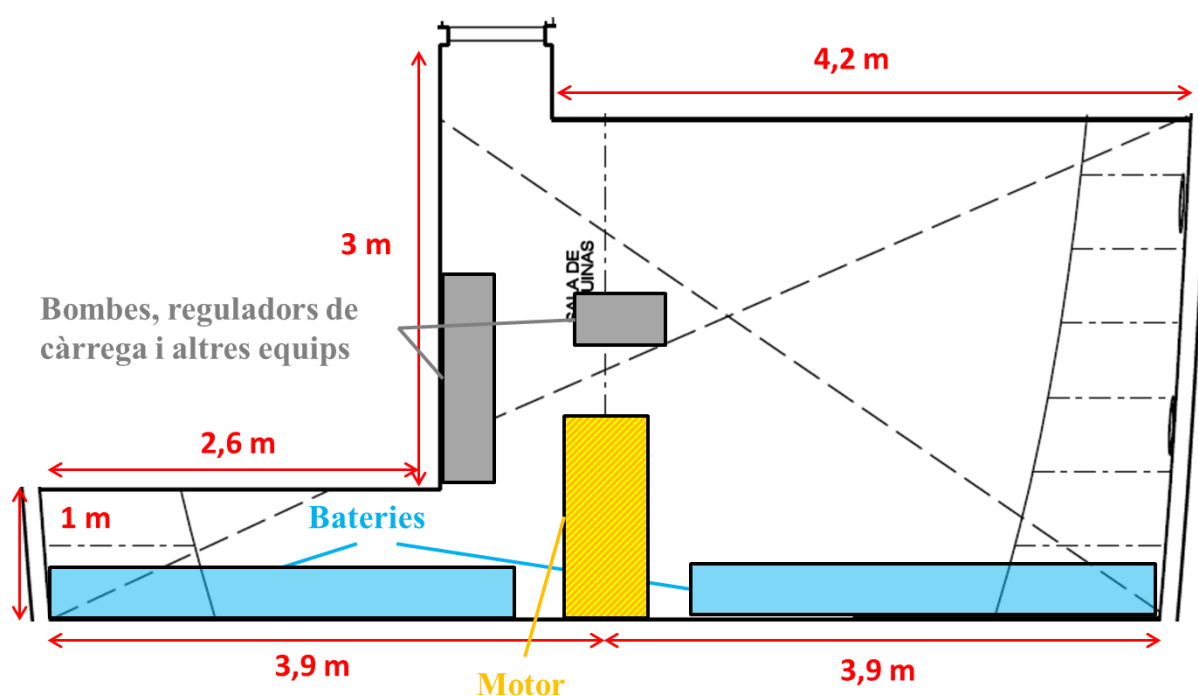


Figura 3.14

A més a més, aquestes per un tema d'equilibri de pesos s'allotjaran equitativament a banda i banda (babord i estribord) de l'embarcació.

### Model de les bateries

Ala taula 3.32 es mostra un estudi dels paràmetres de diferents models de bateries i fabricants.

Tipus bateria	Tipus	U	Altura (mm)	Amplada (mm)	Profunditat (mm)	Pes/ bateria	Ah/ bateria	Files verticals	Files horitzontals	Files horitzontals/b anda	Alçada/ banda (m)	Amplada/ banda (m)	Nº total de bateries	Pes total (kg)	Capacitat total (Ah)
FULLRIVER DC260-12	AGM	12	220	269	521	77,3	260	4	30	15	0,9	4,1	120	9276	7800
FULLRIVER DC240-12	AGM	12	208	269	520	75,2	240	4	32	16	0,9	4,4	128	9626	7680
FULLRIVER DC220-12	AGM	12	218	242	522	65,5	220	4	35	18	0,9	4,4	144	9432	7920
FULLRIVER DC215-12	AGM	12	371	178	381	59,6	215	4	36	18	1,5	3,3	144	8583	7740
FULLRIVER DC210-12	AGM	12	214	209	530	60	210	4	37	19	0,9	4	152	9120	7980
FULLRIVER DC180-12	AGM	12	214	209	530	56,8	180	4	43	22	0,9	4,6	176	9997	7920
FULLRIVER DC160-12	AGM	12	241	171	484	42,7	160	4	48	24	1	4,2	192	8199	7680
FULLRIVER DC150-12	AGM	12	269	182	327	42,6	150	4	51	26	1,1	4,8	208	8861	7800
FULLRIVER DC140-12	AGM	12	267	172	341	42,7	140	4	55	28	1,1	4,9	224	9565	7840

Taula 3.30

Un model que compleix els requisits és el de la figura 3.15<sup>1</sup>, amb les següents característiques:

**Fabricant:** Fullriver

**Model:** DC215-12V

**Tipus:** AGM

**Tensió:** 12 V

**Pes:** 59,6 kg

**Capacitat:** 215 Ah

**Profunditat de màxima de descàrrega:** 80%

**Intensitat pic:** 1646 A

**Dimensions (Llargada x Amplada x**

**Profunditat):** 244 x 190 x 275 mm

**Descripció:** Bateria d'ús intensiu pensada per embarcacions. No emet gasos i tampoc necessita manteniment. Admet 2.000 cicles aproximadament. Accepta descàrregues fins a un 80% sense perdre rendiment.



**Figura 3.15**

Aquesta, amb una tensió de 12 V, requereix una instal·lació de quatre bateries en sèrie, per aconseguir un voltatge de 48 V. Caldrà un total de 36 columnes (14 per banda), connectades en paral·lel per aconseguir la capacitat d'acumulació necessària, formant un total de 144 bateries (72 per banda).

El pes total de les bateries és de 8,5 tones, que representa tan sols un 7,5 % del pes total de l'embarcació. Les dimensions que aquestes ocuparan són les òptimes entre els models mostrats, ja que les seves dimensions són de 1,5 m d'alçada, 3,3 m d'amplada per banda, i una profunditat de 0,4 m.

<sup>1</sup> **Font:** <http://www.fullriverbattery.com/product/batteries/DC105-12>

### 3.8. Dimensionament de l'ondulador/carregador

L'ondulador/carregador s'encarregarà de dues funcions principals:

- Convertir el corrent en continu proporcionat per les bateries en corrent altern per al consum de l'embarcació.
- Carregar el banc de bateries a través del grup electrogen quan aquestes estiguin baixes de càrrega.

La seva tecnologia es basa en un pont de tiristors que, mitjançant una commutació forçada, transformen l'ona de corrent continu en una ona sinusoïdal de corrent altern i viceversa.

Per a dimensionar l'ondulador de càrrega s'han de tenir en compte diversos paràmetres. El primer a considerar és la potència de sortida a la qual haurà de fer front. El segon és tenir en compte la potència pic d'arrencada. En instal·lacions on hi ha motors, on la intensitat d'arrencada no està regulada per un arrencador electrònic, és freqüent que hi hagi pics d'intensitat de quatre o cinc vegades la nominal.

L'ondulador, en aquest cas, haurà de fer front a arrencades de bombes, electrodomèstics, i l'aparell de climatització. Ara bé, la probabilitat que arrenquin tots els equips alhora és ínfima. Aquests pics de corrent s'hauran d'estudiar en detall, ja que és important no sobredimensionar l'ondulador per no provocar una pèrdua important de l'eficiència.

A les taules 3.31 i 3.32 es mostren els pics de potència que tenen els electrodomèstics i les bombes i equips instal·lats a bord.

Electrodomèstics	Potència (W)	Quantitat	Potència total (W)	Potència pic (W)
Frigorífic	160	3	480	2400
Rentadora	2300	2	4600	23000
Forn	3650	1	3650	3650
Microones	1220	2	2440	12200
Extractor	240	1	240	1200
Vitroceràmica	7200	1	7200	7200
Rentaplats	2400	1	2400	12000
Televisor	30	1	30	30
Assecadora	1000	2	2000	10000
Total			23040	71680

**Taula 3.31**

Equips	Quantitat	Potència (W)	Potència total (W)	Potència pic (W)
Bombes comuns	2	900	1800	9000
Dessalinitzadora i potabilitzadora	1	6600	6600	33000
Planta de tractament d'aigües residuals	1	1500	1500	7500
Bombes de buidatge	2	600	1200	6000
Trituradora per WC	11	300	3300	16500
Calefactores d'aigua semi-instantanis	2	3000	6000	30000
Planta hidràulica	1	2200	2200	11000
Total		15100	22600	113000

**Taula 3.32**



En els electrodomèstics, es pot veure que les càrregues que presenten un major pic d'arrencada són:

- Rentadores: 23 kW
- Microones: 12,2 kW
- Rentaplats: 12 kW
- Assecadores: 10 kW

En el cas dels equips i bombes per al tractament de l'aigua potable:

- Dessalinitzadora: 33 kW
- Calefactors d'aigua semi-instantanis: 30 kW

I en la climatització:

- Climatització: 22 kW

Atesa la naturalesa de les càrregues, és improbable que engeguin al mateix instant. Per tant es suposaran 35 kW de potència pic d'arrencada per als electrodomèstics (rentadora i rentaplats simultàniament) i una potència pic de 33 kW per a les bombes i equips necessaris pel tractament d'aigua potable.

La potència pic que haurà de fer front en un moment puntual serà la potència sol·licitada pel sistema, més la potència pic d'arrencada dels electrodomèstics, més la potència pic d'arrencada de les bombes. A tot això se li aplicarà un marge de seguretat del 20%.

Així doncs, el grup ondulator/carregador haurà de fer front a una potència pic puntual equivalent al resultat d'aplicar l'equació 3.30.

$$P_{pic\ total} = (P_{pic\ electrodomestics} + P_{pic\ bombes\ i\ equips} + P_{sol\cdot licitada\ pel\ sistema}) \cdot 1,2$$

$$P_{pic\ total} = (35\text{ kW} + 33\text{ kW} + 29\text{ kW}) \cdot 1,2 = \mathbf{116,4\text{ kW}} \quad Eq. 3.30$$

### **Model d'ondulador/carregador**

Un model que compleix els requisits és el de la figura 3.16<sup>1</sup>, amb les següents característiques:

**Fabricant:** Victron energy

**Model:** 48/10000/140-100/100

**Tensió d'entrada CC:** 48 V

**Tensió de sortida CA:** 12 V

**Potència nominal:** 9.000 W

**Potència pic:** 20.000 W

**Intensitat nominal CA:** 40 A

**Intensitat pic CA:** 90 A

**Intensitat nominal CC:** 180 A

**Intensitat pic CC:** 400 A

**Intensitat de càrrega de bateria:** 140 A

**Eficiència:** 96 %

**Pes:** 45 kg

**Dimensions (Alçada x Amplada x Profunditat):** 470 x 350 x 280 mm

**Consum:** 10 W (240 Wh/dia)

**Descripció:** L'ondulador carregador Victron energy 48/10000/140-100/100 ofereix la capacitat d'instal·lació amb altes prestacions tant com per baixes potències de 9 kW, com per grans potències de 270 kW. Això és degut a la possibilitat de connectar tant deu grups de 230 V en paral·lel proporcionant una potència de 90 kW, com deu grups en paral·lel trifàsics a 400V (cada grup amb 3 unitats de 230 V), proporcionant 270 kW . Això fa aquest equip un dels més competitius i versàtils del mercat actual.



**Figura 3.16**

<sup>1</sup> **Font:** <http://www.victronenergy.com.es/upload/documents/Datasheet-Quattro-3kVA-10kVA-ES.pdf>

El sistema de connexió serà trifàsic i a 400 V, fent grups de 3 onduldors connectats en paral·lel.

Per a determinar quants equips fa falta connectar, s'haurà de tenir en compte les intensitats nominals i de pic tant en corrent continu com en altern amb un marge de seguretat, i assegurar-se també que la potència és la requerida. A les taules 3.33 i 3.34 es mostren els càlculs per determinar del nombre d'equips necessaris.

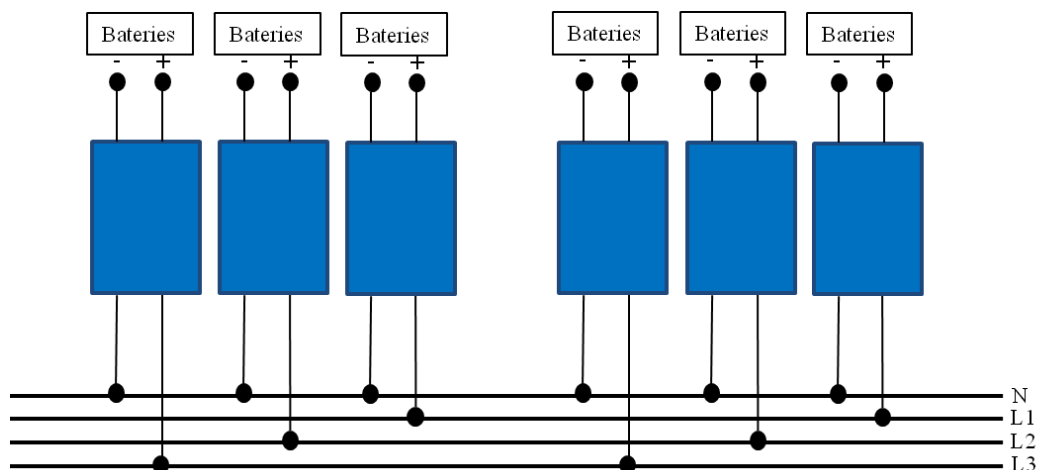
Corrent altern	Valor	+ 20 % marge seguretat	Nº equips en paral·lel
Potència nominal (kW)	29	34.8	4
Potència pic (kW)	97	116,4	6
Intensitat nominal (A)	127	152,4	4
Intensitat pic (A)	422	506,4	6

**Taula 3.33**

Corrent continu	Valor	+ 20 % marge seguretat	Nº equips en paral·lel
Potència nominal (kW)	29	34.8	4
Potència pic (kW)	97	116.4	6
Intensitat nominal (A)	605	726	4
Intensitat pic (A)	2021	2425.2	6

**Taula 3.34**

Per tant, seran necessaris 2 grups de 3 equips en paral·lel, subministrant una potència nominal de 54 kW i una potència pic de 120 kW. La connexió seria com es veu a la figura 3.17



**Figura 3.17**

**Localització del grup ondulator/carregador**

El grup ondulator/carregador anirà instal·lat, com exigeix el reglament a la sala de màquines. Tindrà un pes total de 270 kg i unes dimensions totals d'1 m d'alçada, 0,8 m d'amplada i 0,35 m de profunditat, repartits en tres columnes dues files.

En la figura 3.18 es pot veure la seva disposició a la sala de màquines.

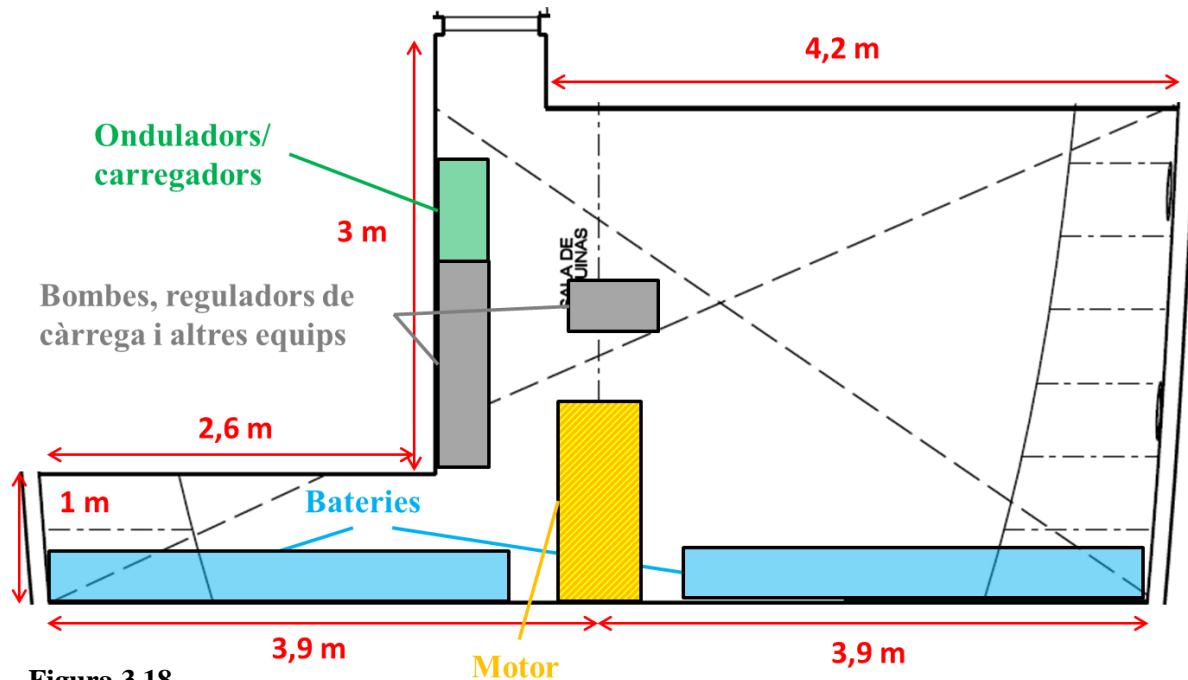


Figura 3.18

### 3.9. Dimensionament dels grups electrògens

Per tal d'assegurar que no hi hagi un dèficit d'energia en moments puntuals i per fer viable l'ús de totes les càrregues, s'equiparà l'embarcació amb un conjunt de grups electrògens que puguin satisfer la demanda en cas de no haver-hi prou generació d'energia o quan la demanda de potència sigui massa alta.

El reglament SOLAS i la societat de classificació Germanischer Lloyd's Register exigeixen com a mínim dos (2) grups electrògens més un (1) generador auxiliar. La potència d'aquests generadors haurà de ser tal que si algun d'ells falla, els restants puguin satisfer amb normalitat la demanda de potència sense haver de recórrer al generador auxiliar.

Si observem la taula 3.11 de l'apartat 3.3.10 veiem que l'embarcació té un consum de 100 kW (aproximadament) navegant a vela i un consum de 225 kW (aproximadament) navegant a motor, essent la potència total instal·lada de 400 kW (aproximadament). Les càrregues que aniran alimentades directament pels grup electrògens són:

- Motor de propulsió, 315 kW
- Hèlix de proa, 22 kW

Aquestes càrregues, però, no funcionaran mai simultàniament, i a més a més no ho faran (normalment) a la seva potència nominal.

Per dimensionar els grups electrògens es tindran en compte les diferents situacions de càrrega que estarà sotmès el sistema, que són:

- Navegació a motor
- Navegació a vela i/o fondejat

### **Navegació a motor**

En un motoveler de 38 m s'ha vist que la seva velocitat màxima està prop dels 13 nusos (6,68 m/s) i que una velocitat raonable de creuer seria entre 7 i 8 nusos de velocitat (3,6 i 4,1 m/s, respectivament). Suposant que la velocitat és directament proporcional a la potència sol·licitada al motor de propulsió, 8 nusos equivalen a una demanda de potència de 185 kW.

Si tenim en compte el cas que la generació d'energia sigui insuficient per satisfer la demanda alhora que les bateries es trobin baixes de càrrega i requereixin del grup electrogen, la demanda de potència pot arribar als 250 o 300 kW.

Es pot dir doncs, que navegant a motor, el consum pot arribar als **300 kW**

### **Navegació a vela i/o fondejat**

Tot i navegar a vela, la necessitat d'un motor de propulsió sempre hi és present, ja que per maniobrar a port i per fondejar les veles són inviabilitats. La velocitat en què s'han d'efectuar les maniobres, però, no supera els 3 nusos (1,54 m/s). Aquesta velocitat, suposant que és directament proporcional a la potència sol·licitada al motor de propulsió, equival a una demanda de potència de 70 kW.

Navegant a vela, la demanda de potència del sistema excloent el motor de propulsió i l'hèlix de proa, no excedirà mai els 70 kW, que són els instal·lats procedents de la resta de càrregues.

Es pot dir doncs, que navegant a vela, el consum pot arribar als **70 kW**.

### **Potències dels grups**

Si el que es desitja és fer un dimensionat eficient s'ha de tenir en compte els rendiments dels grups electrògens. Aquests tenen un rendiment màxim quan la demanda de potència és pròxima al 85 % de la nominal i la corba de rendiment decreix amb un pendent elevat quan ens allunyem cap al límit inferior.

Veient les diferents situacions de demanda de potència, es decideix instal·lar tres grups electrògens. Aquests, tindran una potència nominal de 73 kW i dos de 200 kW.

D'aquesta manera si es desitja navegar a vela no serà necessari engegar els grups de 200 kW i la demanda de potència es podrà satisfer amb el grup de 73 kW. Contràriament, es desitja navegar a motor els dos grups de 200 kW podran satisfer aquesta demanda.

En el cas que algun dels grups fallés, els restants podrien satisfer les condicions de seguretat i normalitat que exigeix la normativa sense fer ús del grup auxiliar.

### **Model del grup electrogen de 200 kW**

Pels grups de 200 kW, s'han estudiat diverses possibilitats a través de diversos fabricants, a la taula 3.35 es poden veure les característiques principals dels diferents models.

Fabricant	Model	kVA	kW	Factor potència	Consum combustible (g/kWh)	Dimensions (Llargada x Amplada x Alçada) (mm)	Pes (kg)
Steyr	WD615.68DC	187,5	150	0,8	210	2400 × 900 × 1600	2300
Steyr	WD615.46DC	225	180	0,8	200	2400 × 900 × 1600	2650
Steyr	WD615.57DC	250	200	0,8	200	2450 × 900 × 1600	2700
Volvo	D9MG/239	225	180	0,8	204	2859 × 1035 × 1394	2590
Volvo	D9MG/239	262,5	210	0,8	204	2859 × 1035 × 1394	2675
Volvo	D12MG/310	300	240	0,8	198	2918 × 1035 × 1394	3012
Cummins	6LTAA8.9-GM200	187,5	150	0,8	212	2550 × 980 × 2250	2900
Cummins	NTA855-DM	250	200	0,8	208	2580 × 980 × 2290	3100
Cummins	NTA855-DM	312,5	250	0,8	208	2620 × 980 × 2290	3180

**Taula 3.35**

Un model que compleix els requisits és el de la figura 3.19<sup>1</sup>, amb les següents característiques:

**Fabricant:** Steyr

**Model:** WD615.57DC

**Potència aparent:** 250 kVA

**Potència real:** 200 kW

**Consum:** 200 g/kWh

**Factor de potència:** 0,8

**Pes:** 2700 kg

**Combustible:** Dièsel

**Tolerància de voltatge:** 3 %

**Dimensions (Alçada x Amplada x Alçada)(mm):** 2450 x 900 x 1600 mm



**Figura 3.19**

### **Model del grup electrogen de 70 kW**

Un model que compleix els requisits és el de la figura 3.20<sup>2</sup>, amb les següents característiques:

**Fabricant:** Fischer Panda

**Model:** WD615.57DC

**Potència aparent:** 85 kVA

**Potència real:** 73 kW

**Consum:** 180 g/kWh

**Factor de potència:** 0,85

**Pes:** 1500 kg

**Combustible:** Dièsel

**Tolerància de voltatge:** 3 %

**Dimensions (Llargada x Amplada x Alçada)(mm):** 1700 x 900 x 1200 mm

**Descripció:** El grup de 73 kW serà el model Panda 85-4 PMS del fabricant Fischer Panda. Aquest grup està especialment insonoritzat.



**Figura 3.20**

<sup>1</sup> Font: <http://www.gensetssupplier.com/2-2-2-marine-diesel-generator-sets.html>

<sup>2</sup> Font: [http://www.azimutmarine.es/media/upload/file/NAUTICA/catalogo\\_fischer\\_2015.pdf](http://www.azimutmarine.es/media/upload/file/NAUTICA/catalogo_fischer_2015.pdf)



**Requisits per connectar els grups electrògens en paral·lel**

Per a poder connectar grups electrògens en paral·lel, aquests han de complir els següents requisits:

- Voltatges iguals
- Freqüències iguals
- Mateixes seqüències de fase
- Potència similar

En el cas dels grups generadors de 200 kW es compleixen tots els requisits, però el de 73 kW té una potència que dista massa dels altres. És per això, que no seria recomanable dissenyar la instal·lació de manera que poguessin funcionar els 3 grups en paral·lel.

Navegant a vela s'utilitzarà, en els moments que es necessiti, el generador de 73 kW, subministrant la potència necessària per les maniobres i per recarregar les bateries en el cas que es necessités.

Si es volgués navegar a motor, en el moment que entressin els grups de 200 kW, el generador de 73 kW deixaria de funcionar.

Això seria possible mitjançant un enclavament elèctric controlat per un autòmata i gestionat des del pont de control.

### Localització dels grups electrògens

En la figura 3.21 es pot veure on aniran instal·lats els grups a la sala de màquines.

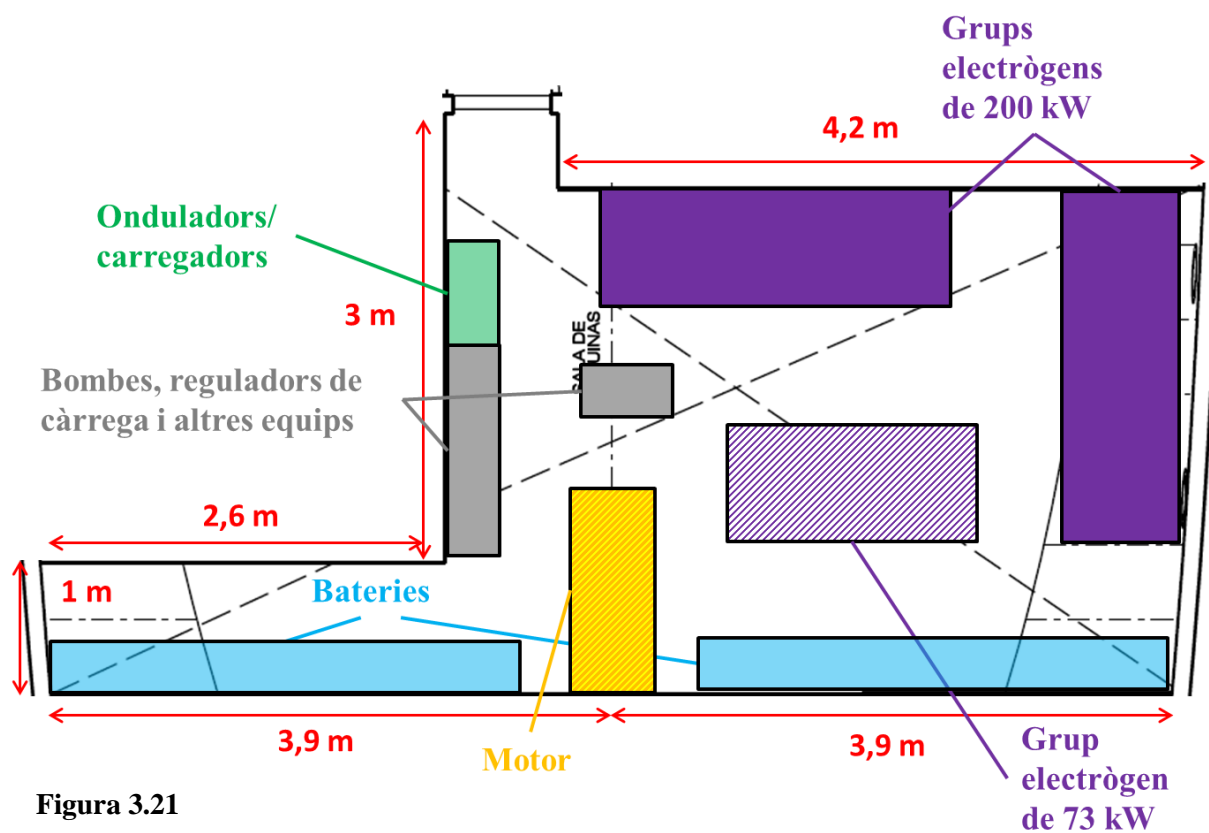


Figura 3.21

### 3.10. Càlcul de circuits

#### 3.10.1. Règim de connexió a terra

El reglament SOLAS exigeix que en una embarcació el règim de neutre sigui de neutre flotant, també conegut com a sistema IT.

Aquest esquema es caracteritza per tenir el secundari del transformador, o en aquest cas el grup electrogen, aïllat de terra, o bé amb una resistència de valor molt elevat,  $Z_s$  (en alguns casos més de  $3000\ \Omega$ ). La diferència de potencial entre una fase i el terra és de 230 V, i la impedància, com ja s'ha dit, de l'ordre de  $3000\ \Omega$ , segons la llei d'ohm, donaria lloc a un corrent de defecte de 76 mA. Suposant una resistència del conductor de terra de  $5\ \Omega$ , la diferència de potencial entre el defecte i terra és de l'ordre de 0,38 V, un valor molt més baix del que es considera llindar de seguretat, que són 24 V. D'aquesta manera, si només hi ha un defecte, el sistema continua funcionant perquè no hi ha risc elèctric per a les persones ni per a la instal·lació.

Ara bé, en el cas d'un segon defecte en una altra fase (a la mateixa càrrega o en una altra), es crea un curtcircuit que es tanca mitjançant els dos defectes consecutius. Si es podreixen, doncs, dos defectes, la continuïtat del servei es veu afectada, ja que dispararien les proteccions aigües amunt del circuit, com interruptors automàtics o fusibles.

És per aquest motiu, que per fer possible la continuïtat de servei es requereix la presència d'un controlador d'aïllament. Aquest equip, injecta constantment al sistema un corrent amb una freqüència molt baixa (de l'ordre de 2,5 Hz). En el cas d'un primer defecte, el corrent injectat pel controlador d'aïllament es tanca a través d'aquest defecte, circulant pel conductor de terra, i essent detectat pel controlador. Quan això passa, el controlador d'aïllament emet tant alarmes acústiques com visuals, fent possible als operaris de manteniment detectar i corregir la fuga abans que es produeixi un segon defecte.

### 3.10.2. Distribució al quadre general de baixa tensió

En una instal·lació de baixa tensió és freqüent trobar un sistema de distribució radial. Aquest sistema es caracteritza per la presència d'un quadre general de baixa tensió (CGBT), que pot tenir un, o més d'un, embarrat independent d'on s'alimenten subquadres de distribució que aniran a les diferents càrregues de la instal·lació.

En aquest cas, el quadre general tindrà dos embarrats independents, anomenats “embarrat 1” i “embarrat 2”.

#### **Embarrat 1**

L'embarrat 1 s'alimentarà directament dels grups electrògens de la instal·lació i de la xarxa elèctrica del port mitjançant un transformador de MT/BT quan aquest estigui amarrat. D'aquest hi penjaran les següents càrregues:

- Sistema de propulsió, motor trifàsic de 315 kW
- Hèlix de proa, motor trifàsic de 22 kW

D'aquest embarrat també hi penjaran les següents sortides:

- Acoblament amb l'embarrat 2, sortida trifàsica de 71 kW
- Sis sortides a cada equip ondulator/carregador, monofàsiques de 9 kW cadascuna

Del neutre de l'embarrat 1, també hi penjarà el controlador d'aïllament i un descarregador de sobre tensions transitòries.

**Embarrat 2**

L'embarrat 2 s'alimentarà de dues possibles maneres, mitjançant els grups ondulators/carregadors o bé mitjançant l'acoplament provinent de l'embarrat 1. De l'embarrat 2 hi penjaran les següents càrregues:

- Enllumenat interior
- Enllumenat exterior
- Llums de l'embarcació
- Electrodomèstics
- Preses de corrent d'ús general
- Bombes i equips
- Climatització
- Molinet
- Equips de la sala de control
- Auxiliars de maniobra i control

En aquest embarrat també s'hi penjarà un controlador d'aïllament amb un descarregador de sobretensions transitòries. Aquest controlador d'aïllament actuarà com esclau del controlador de l'embarrat 1 en cas que l'acoblament entre embarrats no estigui obert.

A la taula 3.36 es mostra un resum dels diferents embarrats del CGBT i les seves corresponents sortides i subquadres que hi pegen.

Càrregues	Potència instal·lada (kW)	Potència sol·licitada (kW)	Embarrat	Subquadres de l'embarrat 2	Tipus del subquadre	Tensió del circuit o del subquadre (V)
Enllumenat interior	2,22	0,83	2	A	Monofàsic	230
Enllumenat exterior	0,42	0,42	2	A	Monofàsic	230
Llums embarcació	0,02	0,02	2	E	Monofàsic	230
Electrodomèstics	23,04	12,7	2	B	Trifàsic	400
Preses de corrent	6,9	0,69	2	A	Monofàsic	230
Bombes i equips	22,6	10,76	2	C	Trifàsic	400
Climatització	8,7	2,175	2	D	Monofàsic	230
Sistema de propulsió	315	60	1	-	-	400
Hèlix de proa	22	11	1	-	-	400
Molinet	3,4	0,68	2	E	Monofàsic	230
Equips de la sala de control	1,37	0,62	2	E	Monofàsic	230
Auxiliars de maniobra i control	2,3	0,552	2	E	Monofàsic	230

**Taula 3.36**

Com es pot veure a la taula, hi ha quadres que pegen de l'embarrat 2 que són monofàsics. Això provoca que si les càrregues no estan ben repartides, es generi un sistema desequilibrat. La normativa exigeix que la diferència de la potència sol·licitada per les càrregues monofàsiques de les diferents fases no superi una diferència entre elles del 15 %.

A la taula 3.37 es mostren els diferents subquadres i les seves corresponents potències. Es pot comprovar que en cap cas disten més d'un 15% entre ells pel que fa a la potència sol·licitada.

Subquadres que pengen de l'embarrat 2 monofàsics	Potència instal·lada (W)	Potència sol·licitada (W)
A	9540	1940
D	8700	2175
E	7090	1872
Total	25330	5987

**Taula 3.37**

### 3.10.3. Cablejat i proteccions

En una instal·lació de baixa tensió per a dimensionar els conductors i les proteccions s'han de tenir en compte tres paràmetres:

- Intensitats de curtcircuit
- Sobreintensitats
- Caigudes de tensió

#### Intensitats màximes de curtcircuit

##### Transformador MT/BT de port

L'embarcació tindrà connexió a la xarxa elèctrica del port a través d'un transformador de MT/BT. Aquest es considerarà de 100 kVA, ja que només haurà d'alimentar una potència de 70 kW, corresponent a les càrregues de l'embarat 2.

La intensitat de curtcircuit en bornes d'un transformador es pot trobar a partir de valors tabulats en funció de la seva potència en kVA. A la taula figura 3.38<sup>1</sup> es mostren els valors amb una  $U_{cc}$  del 4%<sup>2</sup>.

Potencia nominal del transformador (kVA)										
	16	25	40	50	63	80	100	160	250	315
<b>237 V</b>										
$I_n$ (A)	39	61	97	122	153	195	244	390	609	767
$I_{cc}$ (A)	973	1.521	2.431	3.038	3.825	4.853	6.060	9.667	15.038	18.887
<b>410 V</b>										
$I_n$ (A)	23	35	56	70	89	113	141	225	352	444
$I_{cc}$ (A)	563	879	1.405	1.756	2.210	2.805	3.503	5.588	8.692	10.917

**Taula 3.38**

Es pot veure que un transformador trifàsic de 100 kVA té una intensitat màxima de curtcircuit en bornes de **3,5 kA**.

<sup>1</sup> **Font:** Guia de disseny d'instal·lacions elèctriques de baixat tensió, Schneider Electric, pg 24, capítol G

<sup>2</sup> **Nota:** Per a transformadors de potències entre 50 i 630 kVA el valor més freqüent de  $U_{cc}$  és del 4%



Grups electrògens

La intensitat de curtcircuit en bornes del grup electrogen es calcula mitjançant les equacions 3.31 i 3.32.

$$I_{cc \text{ màx}} = \frac{U_o \cdot c}{X'_d} \quad \text{Eq. 3.31}$$

$$X'_d = \frac{U_n^2 \cdot Y}{S_G \cdot 100} \quad \text{Eq. 3.32}$$

On:

$I_{cc \text{ màx}}$  és la màxima intensitat de curt circuit.

$U_o$  és la tensió entre la fase i el neutre, 230 V

$U_n$  és la tensió entre fases, 400 V.

$c$  és un factor corrector, es pren 1,05 per defecte.

$S_G$  és la potència en kVA del grup

$X_d$  és la reactància transitòria.

$Y$  és el factor per al càlcul de la reactància transitòria en %, pren un valor de 30 per defecte.

A la taula 3.39 es mostren els resultats pels diferents grups.

Grup	Reactància (mΩ)	$I_{cc}$ (kA)
85 kVA	564,71	0,43
250 kVA	192	1,26

**Taula 3.39**

El CGBT haurà de suportar doncs, una intensitat de curtcircuit màxima de 3,5 kA, la corresponent al transformador

### Secció de conductors

Les seccions dels conductors ses calcularan tenint en compte:

- Intensitat màxima de servei
- Intensitat de curtcircuit prevista
- Factors de correcció per agrupament
- Caiguda de tensió màxima admissible

#### Intensitat màxima de servei

La intensitat màxima de servei en un circuit trifàsic es calcula amb l'equació 3.33 per a línies trifàsiques i amb la 3.34 en el cas de les línies monofàsiques.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi \cdot \eta} \quad \text{Eq. 3.33}$$

$$I = \frac{P}{U_0 \cdot \cos\varphi \cdot \eta} \quad \text{Eq. 3.34}$$

Essent:

$U$  la tensió de línia, 400 V.

$U_0$  tensió de fase-neutre, 230 V.

$\eta$  el rendiment, considerant-se només en el cas dels motors.

La societat de classificació Germanischer Lloyd Register, recomana que els conductors estiguin instal·lats amb el mètode d'instal·lació A1<sup>1</sup>, i el tipus d'aïllament de Polietilè reticulat, XLPE.

---

<sup>1</sup> **Nota:** Mètode d'instal·lació del cablejat on els conductors estan aïllats en tubs encastats a parets aïllants  
[http://www.f2i2.net/Documentos/LSI/rbt/guias/guia\\_bt\\_19\\_feb09R2.pdf](http://www.f2i2.net/Documentos/LSI/rbt/guias/guia_bt_19_feb09R2.pdf)

Tenint present aquestes dades, amb l'ajut de la taula 3.40<sup>1</sup> es pot trobar la secció dels conductors. En aquest cas, de coure i a una temperatura de 40°C de temperatura ambient.

*En la siguiente tabla, además de repetir los valores dados en la Tabla A.52-1bis de la norma UNE 20460-5-523:2004, se incluyen los valores calculados para las secciones no contempladas en la misma (de 400 mm<sup>2</sup> hasta 630 mm<sup>2</sup>).*

*Tabla A - Intensidades admisibles para cables con conductores de cobre, no enterrados  
Temperatura ambiente 40°C en el aire*

Método de instalación*	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento											
A1		3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE						
A2	3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE							
B1				3x PVC	2x PVC		3x XLPE		2x XLPE			
B2			3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE					
C					3x PVC		2x PVC	3x XLPE		2x XLPE		
E						3x PVC		2x PVC	3x XLPE		2x XLPE	
F							3x PVC		2x PVC	3x XLPE		2x XLPE
Sección mm <sup>2</sup> COBRE	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	16,5	19	20	21	24	--
2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	23	26	26,5	29	33	--
4	20	21	23	24	27	30	31	34	36	38	45	--
6	25	27	30	32	36	37	40	44	46	49	57	--
10	34	37	40	44	50	52	54	60	65	68	76	--
16	45	49	54	59	66	70	73	81	87	91	105	--
25	59	64	70	77	84	88	95	103	110	116	123	140
35	--	77	86	96	104	110	119	127	137	144	154	174
50	--	94	103	117	125	133	145	155	167	175	188	210
70	--	--	--	149	160	171	185	199	214	224	244	269
95	--	--	--	180	194	207	224	241	259	271	296	327
120	--	--	--	208	225	240	260	280	301	314	348	380
150	--	--	--	236	260	278	299	322	343	363	404	438
185	--	--	--	268	297	317	341	368	391	415	464	500
240	--	--	--	315	350	374	401	435	468	490	552	590
300	--	--	--	361	401	430	461	500	538	563	638	678
400	--	--	--	431	480	515	552	609	645	674	770	812
500	--	--	--	493	551	592	633	687	741	774	889	931
630	--	--	--	565	632	681	728	790	853	890	1028	1071

*Se indican como 3x los circuitos trifásicos y como 2x los monofásicos.  
A efecto de las intensidades admisibles los cables con aislamiento termoplástico a base de poliolefina (Z1) son equivalentes a los cables con aislamiento de policloruro de vinilo (V).*

**Taula 3.40**

<sup>1</sup> **Font:** [http://www.f2i2.net/Documentos/LSI/rbt/guias/guia\\_bt\\_19\\_feb09R2.pdf](http://www.f2i2.net/Documentos/LSI/rbt/guias/guia_bt_19_feb09R2.pdf)

### Càlcul de la caiguda de tensió

El càlcul de la caiguda de tensió es farà mitjançant la taula 3.41<sup>(1)(2)</sup>. On a partir de la intensitat de cada circuit, la seva secció calculada a partir de la intensitat màxima de servei i la seva longitud, es pot saber la caiguda de tensió en V/(A·km) de cada línia.

S (mm <sup>2</sup> )	Caída de tensión por A y km.											
	Cos φ = 0,8				Cos φ = 1				Cos φ = 0,9			
	40°C	60°C	80°C	90°C	40°C	60°C	70°C	90°C	40°C	60°C	70°C	90°C
1,5	18,255	19,573	20,891	21,550	22,604	24,252	25,899	26,723	20,469	21,951	23,434	24,175
2,5	11,216	12,023	12,830	13,234	13,843	14,852	15,860	16,365	12,562	13,469	14,377	14,831
4	7,024	7,526	8,028	8,279	8,612	9,240	9,867	10,181	7,848	8,413	8,978	9,261
6	4,732	5,068	5,403	5,571	5,754	6,173	6,592	6,802	5,272	5,650	6,027	6,216
10	2,846	3,045	3,244	3,344	3,419	3,668	3,917	4,042	3,157	3,382	3,606	3,718
16	1,820	1,945	2,070	2,133	2,148	2,305	2,461	2,540	2,007	2,148	2,289	2,359
25	1,184	1,263	1,342	1,382	1,358	1,457	1,556	1,606	1,293	1,382	1,471	1,516
35	0,878	0,935	0,992	1,020	0,979	1,050	1,122	1,157	0,950	1,014	1,078	1,110
50	0,672	0,714	0,757	0,778	0,723	0,776	0,828	0,855	0,719	0,766	0,814	0,837
70	0,491	0,520	0,549	0,564	0,501	0,537	0,574	0,592	0,516	0,549	0,582	0,598
95	0,378	0,399	0,420	0,431	0,361	0,387	0,413	0,426	0,390	0,413	0,437	0,449
120	0,315	0,332	0,349	0,357	0,286	0,307	0,327	0,338	0,320	0,339	0,358	0,367
150	0,271	0,284	0,298	0,304	0,232	0,249	0,265	0,274	0,271	0,286	0,301	0,309
185	0,234	0,244	0,255	0,261	0,185	0,199	0,212	0,219	0,229	0,241	0,253	0,259
240	0,197	0,205	0,213	0,217	0,141	0,151	0,161	0,167	0,188	0,197	0,206	0,211

**Taula 3.41**

La societat de classificació Germanischer Lloyd Register exigeix que la caiguda de tensió no sigui mai superior al 10%. Tenint en compte que s'haurà de deixar un marge per la caiguda de tensió dels subquadres, es limitarà la caiguda de tensió al quadre general a un valor del 3%.

<sup>1</sup> **Font:**

[http://ioc.xtec.cat/materials/FP/Materials/0801 IEA/IEA\\_0801\\_M02/web/html/WebContent/u2/media/guia\\_tecnica\\_de\\_aplicacion\\_rebt\\_sept2003rev1.pdf](http://ioc.xtec.cat/materials/FP/Materials/0801 IEA/IEA_0801_M02/web/html/WebContent/u2/media/guia_tecnica_de_aplicacion_rebt_sept2003rev1.pdf)

<sup>2</sup> **Nota:** Aquesta taula és vàlida per circuits trifàsics. Si es desitja saber la caiguda de tensió en circuits monofàsics s'haurà de multiplicar el valor indicat a la taula per un factor de  $2/\sqrt{3} = 1,1547$

### Comprovació de la intensitat de curtcircuit

Un dels paràmetres a tenir en compte alhora d'escollir la secció dels conductors és la intensitat de curtcircuit que hauran d'admetre en uns curts instants de temps abans que la protecció dispari. En aquest cas, però, aquest paràmetre no es considerarà ja que la intensitat de curtcircuit és tan baixa que no cal considerar-la per al dimensionament de la secció dels conductors.

### Proteccions

Per a protegir els circuits s'utilitzaran interruptors automàtics. Les característiques de funcionament dels dispositiu de protecció com són els interruptors automàtics hauran de complir els requisits de les equacions 3.35 i 3.36.

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \quad \text{Eq. 3.35}$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z \quad \text{Eq. 3.36}$$

On:

$I_B$  és el corrent assignat al circuit en funció de les càrregues previstes

$I_n$  és el corrent assignat al dispositiu de protecció

$I_Z$  és el corrent admissible pel conductor en funció del sistema utilitzat

$I_2$  és el corrent que assegura l'actuació del dispositiu de protecció per un temps llarg t

Per tal de satisfer la condició de l'equació 3.36, els interruptors seran de corba C<sup>1</sup>

A la taula 3.42 es mostra un resum dels resultats de les intensitats, la secció dels conductors, la caiguda de tensió i el calibre de l'interruptor automàtic de protecció de cada circuit.

---

<sup>1</sup> **Nota:** La corba d'un interruptor automàtic fa referència a la relació entre el valor de la sobreintensitat que circula per ell i el temps que triga a disparar.

**Font:** Guia de disseny d'instal·lacions elèctriques de baixat tensió, Schneider Electric, pg 5, capítol H

Circuit	Tensió (V)	Unitats	Potència prevista (kW)	Factor de potència	$\eta$	Intensitat assignada al circuit (A)	Secció (mm <sup>2</sup> ) del conductor de coure	Intensitat màxima admissible del conductor (A)	Longitud (m)	Caiguda de tensió (V)	Calibre de l'interruptor automàtic (A)
Escamesa transformador	400	1	80	0,8	-	144,34	70	160	4	0,283479	160
Escamesa grup electrogen de 250 kVA	400	2	200	0,8	0,92	392,22	300	401	2	0,154535	400
Escamesa grup electrogen de 85 kVA	400	1	73	0,85	0,94	131,87	70	160	3	0,077937	160
Sistema de propulsió	400	1	315	0,87	0,96	544,38	630	632	3	0,244969	630
Hèlix de proa	400	1	22	0,9	0,95	37,14	16	66	40	2,971159	60
Subquadre A	230	1	9,54	1	-	41,48	10	52	1	0,163753	50
Subquadre B	400	1	23,04	1	-	33,26	10	50	1	0,113401	50
Subquadre C	400	1	22,6	1	-	32,62	10	50	1	0,111529	50
Subquadre D	230	1	8,7	1	-	37,83	10	52	1	0,149334	50
Subquadre E	230	1	7,09	1	-	30,83	10	52	20	2,424071	50
Acomplament d'embarcats	400	1	71	1	-	102,48	35	104	1	0,100328	125
Sortida al equip ondulador/carregador	230	6	9	1	-	12,99	2,5	15	2	0,359574	20

Taula 3.42

#### 4. Anàlisi econòmica global

Per a realitzar l'anàlisi econòmica global s'estudiarà el cost de la inversió de tot l'equip necessari per fer possible la generació d'energia procedent de fonts renovables i es compararà amb l'estalvi provinent de la quantitat d'energia que es deixa de consumir procedent dels combustibles fòssils.

L'anàlisi quantitatiu es farà utilitzant paràmetres com el **TIR** (**T**assa **I**nterna de **R**etorn) i el **VAN** (**V**alor **A**ctual **N**et), paràmetres que s'utilitzen per mesurar la rendibilitat d'un projecte.

Si tenim un projecte que requereix una inversió  $X$  i ens generarà fluxos de caixa positius  $Y$ , al llarg de  $Z$  anys, hi haurà un punt en el qual recuperem la inversió  $X$ . Però clar, si en lloc d'invertir els diners  $X$  en un projecte empresarial, l'haguéssim invertit en un producte financer, també tindríem una tornada d'aquesta inversió.

Per tant als fluxos de caixa cal retallar-los una taxa d'interès que podríem haver obtingut, és a dir, actualitzar els ingressos futurs a la data actual. Si a aquest valor li descomptem la inversió inicial, tenim el valor actual net del projecte (VAN).

Si, per exemple, fem una estimació dels ingressos de la nostra empresa durant cinc anys, perquè el projecte sigui rendible el VAN haurà de ser superior a zero, la qual cosa significarà que recuperarem la inversió inicial i tindrem més capital que si ho haguéssim posat a renda fixa.

La fórmula per al càlcul del VAN és la de l'equació 5.1.

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n} \quad \text{Eq. 4.1}$$

On:

$I$  és la inversió

$Q_n$  és el flux de caixa a l'any  $n$

$r$  és la taxa d'interès amb la qual estem comparant

$N$  és el nombre d'anys d'inversió

Una altra forma de calcular el mateix és mirar la Taxa Interna de Tornada (TIR), que seria el tipus d'interès en el qual el VAN es fa zero. Si el TIR és alt, estem davant un projecte rendible, ja que suposa una tornada de la inversió equiparable a uns tipus d'interès alt que possiblement no es trobarien al mercat. En canvi, si el TIR és baix, possiblement podríem trobar una altra destinació per als diners.

Per descomptat que en l'avaluació d'un projecte hi ha moltes altres coses a tenir en compte, com per exemple el temps que triges a recuperar la inversió, el risc que té el projecte, l'anàlisi cost-beneficis... i aquests paràmetres esmentats tenen alguns problemes, com són la versemblança de les prediccions de flux de caixa. Però el VAN i el TIR no deixen de ser un interessant punt de partida.



En la taula 4.1 es mostra un resum dels costos de l'inversió del projecte.

Ítem	Preu unitari (euros)	Hores de mà d'obra/unitat	Nombre d'unitats	Preu total del material (€)	Mà d'obra de muntatge <sup>1</sup> (€)	Altres costos i riscos <sup>2</sup> (€)	Cost total (€)
Mòdul fotovoltaic	455	2	56	25480	3360	2884	31724
Aerogenerador i regulador	1530	15	2	3060	900	396	4356
Regulador fotovoltaic	625	4	2	1250	240	149	1639
Onduladors/carregadors	3646	6	6	21876	1080	2295,6	25251,6
Cablejat	1000	80	1	1000	2400	340	3740
Bateries	436	1	144	62784	4320	6710,4	73814,4
Autòmat	3000	20	1	3000	600	360	3960
Total				118450	12900	13135	144485

**Taula 4.1**

Veiem que l'inversió és propera als **145000 €**.

El període de retorn, definit com el temps que es trigaria a amortitzar la inversió, en aquest cas depèn de moltes variables.

La primera és l'ús que se li vulgui donar a l'embarcació. En funció dels dies que s'utilitzi durant l'any el període de retorn serà més llarg si sen fa un ús puntual, i més baix si l'embarcació s'utilitza de forma intensiva.

La segona variable, que no es pot estimar amb exactitud, és la generació d'energia a bord. Aquesta depèn majoritàriament de les condicions climàtiques, impossibles de predir amb exactitud més enllà de tres setmanes. Com més alta sigui la generació d'energia a bord menys ús del combustible fòssil es requerirà, i per tant, més curt serà el període de retorn.

<sup>1</sup> **Nota:** S'ha pres un valor de 30€/h per la mà d'obra, ja que es requereix de personal qualificat per realitzar la instal·lació.

<sup>2</sup> **Nota:** Els riscos s'han quantificat com un 10% del cost de mà d'obra més el cost del material

Altres variables menys determinants podrien ser el preu del combustible, que fluctua en funció de l'any.

Tenint present la inexactitud en el càlcul, es procedirà valorant l'energia total generada a l'any provinent de fonts renovables com un flux econòmic o de caixa positiu. L'energia generada mitjançant fonts renovables és energia que no caldrà generar utilitzant combustibles fòssils, i aquesta serà a cost zero, a diferència del combustible fòssil. Aquest estalvi en combustible fòssil serà el flux de caixa positiu.

Tenint en compte les dades de la taula 4.2, es mostren a la taula 4.3 els resultats del càlcul del flux de caixa positiu, equivalent al cost del gasoil que hi hauria sense haver-hi generació d'energia.

Consum dels grups (g/kWh)	200
Preu (€/l) gasoil	1,3
Densitat del gasoil (kg/l)	0,832

**Taula 4.2**

	Mitjana d'energia generada (kWh/dia)	Ús de l'embarcació (dies/any)	Consum de gasoil (l) per generar l'energia equivalent a l'energia renovable	Cost del combustible (€) per generar l'energia equivalent a l'energia renovable
Temporada d'estiu	52	50	625	812,5
Temporada d'hivern	36,3	20	174,52	226,88
<b>Total</b>		<b>70</b>	<b>799,52</b>	<b>1039,38</b>

**Taula 4.3**

Veiem que el flux de caixa és aproximadament de **1040 € a l'any**.

Com es pot comprovar sense la necessitat de fer el càlcul, **econòmicament el projecte no és viable**. La inversió a realitzar és propera als 150000 €, mentre que el flux de caixa positiu supera en escaig els 1000 €. El període de retorn seria massa elevat com perquè la inversió fos rendible.

## 5. Impacte ambiental i social

Si mirem el vessant mediambiental del projecte, el fet que hi hagi una generació d'energia procedent de fonts renovables fa que tant a reducció d'emissions de gasos a l'atmosfera com l'impacte social siguin molt beneficiosos.

En un iot de grans dimensions la despesa energètica generalment no segueix una línia ètica d'eficiència. Socialment, per tant, l'impacte que tenen aquests iots en les platges o cales on fondegen no és ben vist.

El fet que hi hagi una generació d'energia neta a bord i que sigui aquesta suficient com per no fer ús dels combustibles fòssils mentre l'embarcació està fondejada, repercuteix de manera positiva al personal a bord, als banyistes i també al medi ambient i l'ecosistema marí. Això és degut principalment al fet que l'abocament de productes de rebuig es redueix notòriament, i la contaminació marítima la qual pot afectar directament als banyistes es veu també reduïda.

Sabent que cada kg de gasoil utilitzat emet 3,21 g de CO<sub>2</sub> <sup>(1)</sup> a l'atmosfera es pot fer un càlcul estimatiu en funció de la mitjana anual de producció d'energia renovable i els dies d'ús de l'embarcació. A la taula 5.1 es mostren els resultats

	Mitjana d'energia generada (kWh/dia)	Ús de l'embarcació (dies/any)	Consum de gasoil (l/any) per generar l'energia equivalent a l'energia renovable	Emissions de CO <sub>2</sub> (kg/any) a l'atmosfera que no s'emetran.
Temporada d'estiu	52	50	625	1669,2
Temporada d'hivern	36,3	20	174,52	466,09
<b>Total</b>		<b>70</b>	<b>799,52</b>	<b>2135,29</b>

**Taula 5.1**

Així doncs, **cada any s'emeten 2135 kg menys de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera.**

<sup>1</sup> **Font:** <http://www.cleanergysolar.com/2011/06/20/e-co2-calculadora-emisiones-de-co2-por-tipo-de-combustible-y-uso/#>

## 6. Conclusions

A continuació es farà menció dels principals punts d'interés del projecte.

Tot i ser una instal·lació tècnicament viable i presentar clars avantatges, perquè una inversió d'aquestes característiques es porti a terme, un requisit important és que econòmicament sigui rendible. Això principalment es deu al fet que el mercat ja presenta bones solucions per satisfer la demanda d'energia a bord, que són els combustibles fòssils. Aquests, malgrat contaminar l'atmosfera i ser limitats al planeta, de moment encara presenten relacions de cost-energia i espai/pes d'emmagatzemat-energia que resulten satisfactòries i per substituir-los per energies netes, econòmicament la inversió hauria de ser rendible.

Això, sumat a les inversions d'infraestructura global que es requeririen, provoca que en el sector nàutic dels grans iots l'obtenció d'energia encara sigui, en la majoria dels casos, mitjançant el combustible fòssil.

Si es mira l'impacte al medi ambient, sí que és cert que es redueixen de forma notòria les emissions de gasos contaminants a l'atmosfera, en un iot com el d'aquest projecte i amb l'ús que se li pretén donar, s'arribaria a deixar d'emetre gairebé 2 kg de diòxid de carboni a l'atmosfera, magnitud que, aquest cop sí, resulta satisfactòria.

Tot i així, malgrat les contínues emissions diàries de gasos i contaminació al medi ambient que provoquem els humans, les fonts no netes continuen essent viables, ja que encara hi ha suficients reserves i la vida al planeta encara no s'ha vist prou afectada com per a què ens veiem obligats a canviar el sistema.

A causa d'aquests fets, les inversions en el sector de generació d'energia neta escassegen, i les solucions que presenta el mercat estan lluny de poder substituir plenament els combustibles fòssils, i encara menys en el sector nàutic on restriccions com són l'espai i el pes ho fan encara més difícil.

## 7. Agraïments

Vull aprofitar aquestes línies per agrair a totes les persones que m'han ajudat i m'han fet costat al llarg de la realització d'aquest projecte.

En primer lloc, als membres de la meva família i amics, que han sabut calmar-me, escoltar-me i aconsellar-me, tant en les fases inicials com a les finals d'aquest projecte.

En segon lloc, voldria agrair al professor Pau Casals de la Facultat de Nàutica de Barcelona i professor a l'ETSEIB, per orientar-me en temes claus com referències normatives i viabilitat de les instal·lacions d'energia renovable i sistemes de propulsió elèctrics en embarcacions.

Finalment, voldria agrair al meu tutor, l'Oriol Boix Aragonès del departament d'enginyeria elèctrica a l'ETSEIB, per haver-me resolt de forma continuada tots els dubtes que m'han anat sorgint mentre realitzava el projecte, corregir-me els errors que inicialment tenia i orientar-me en la totalitat del projecte.

A totes aquestes persones, moltes gràcies, sense vosaltres no hauria estat possible.

## 8. Bibliografia i referències normatives

### Normativa

- Conveni SOLAS, 2009. Conveni internacional per la seguretat humana al mar.  
Capítol II.  
Disponible a <http://personales.gestion.unican.es/martinji/Archivos/SolasCap2-1.pdf>
- Rules for Classification and Construction Ship Technology, Electrical installations.  
Germanischer Lloyd SE, 29 Gener 2014. Societat de classificació per la qual es regula la normativa de les instal·lacions elèctriques en embarcacions.  
Disponible a [http://www.gl-group.com/infoServices/rules/pdfs/gl\\_i-1-3\\_e.pdf](http://www.gl-group.com/infoServices/rules/pdfs/gl_i-1-3_e.pdf)
- REBT, 2002. Reglament electrotècnic de baixa tensió.  
Disponible a [https://www.boe.es/boe\\_catalan/dias/2002/10/01/pdfs/A02526-02720.pdf](https://www.boe.es/boe_catalan/dias/2002/10/01/pdfs/A02526-02720.pdf)
- CTE, 2006. Codi tècnic de l'edificació.  
Disponible a [https://www.boe.es/boe\\_catalan/dias/2006/03/28/pdfs/A00003-00965.pdf](https://www.boe.es/boe_catalan/dias/2006/03/28/pdfs/A00003-00965.pdf)

### Guies tècniques

- Guía técnica de aplicacion del REBT. Ministerio de industria, energia y turismo.  
Gobierno de España.  
Disponible a [http://www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/rebt\\_guia.aspx](http://www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/rebt_guia.aspx)
- Guía de diseño de instalaciones eléctricas 2010. Colección técnica. Schneider Electric  
Disponible a [http://www.schneider-electric.com.co/documents/News/automation-control/Guia\\_de\\_%20diseno\\_de\\_instalaciones\\_electricas\\_2010.pdf](http://www.schneider-electric.com.co/documents/News/automation-control/Guia_de_%20diseno_de_instalaciones_electricas_2010.pdf)

### Projectes consultats

- MANUEL JESÚS GONZÁLEZ RAMÍREZ. Sistema electrico aislado con instalación fotovoltaica y eólica híbrida en cortijo agrícola, 2012. Escuela superior de ingeniería de valladolid.

- ALEJANDRO SÁNCHEZ FERNÁNDEZ. Yate a vela 30 m, 2012. Escuela superior de ingenieros navales. Universidad politécnica de madrid. Proyecto nº 1748.

### **Fonts web consultades**

- *Luminotècnia. Iluminación de interiores y exteriores* [En línia]. Oriol Boix, Javier Garcia Fernandez

Disponible a <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/>

[Consulta: Maig 2015]

- *Eliga su generador eólico* [En línia]. Fondear

Disponible a [http://www.fondear.org/infonautic/equipo\\_y\\_usos/Equipamiento/GeneradorEolico/GeneradorEolico.htm](http://www.fondear.org/infonautic/equipo_y_usos/Equipamiento/GeneradorEolico/GeneradorEolico.htm)

[Consulta: Juny 2015]

- *Panales solares, la prueba de fuego* [En línia]. Fondear

Disponible a [http://www.fondear.org/infonautic/Equipo\\_y\\_Usos/Equipamiento/Paneles-Solares/Paneles-Solares-Instalacion.asp](http://www.fondear.org/infonautic/Equipo_y_Usos/Equipamiento/Paneles-Solares/Paneles-Solares-Instalacion.asp)

[Consulta: Juny 2015]

- *Baterias AGM. ¿Qué son?* [En línia]. Fondear

Disponible a [http://www.fondear.org/infonautic/Equipo\\_y\\_Usos/Electricidad\\_Energia/Baterias\\_AGM/Baterias\\_Absorbent-Glass-Mat.asp](http://www.fondear.org/infonautic/Equipo_y_Usos/Electricidad_Energia/Baterias_AGM/Baterias_Absorbent-Glass-Mat.asp)

[Consulta: Juliol 2015]

- *Sistemas eléctricos de baja tensión para propulsión marina. Fiabilidad y altas prestaciones* [En línia]. Cuadernos técnicos ABB. Edició 2009-2010

Disponible a [http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/e308f3e92d9a8fc5c1257c9f00349c99/7ef77226a71cccabc12578d5003d7ec4/\\$FILE/Cat%C3%A1logo\\_Sistemas\\_BT\\_marina.pdf](http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/e308f3e92d9a8fc5c1257c9f00349c99/7ef77226a71cccabc12578d5003d7ec4/$FILE/Cat%C3%A1logo_Sistemas_BT_marina.pdf)

[Consulta: Agost 2015]

- *Introducción a los sistemas e instalaciones navales a bordo* [En línia]. Cuaderno de aplicaciones técnicas n.º 11

Disponible a [http://www.edu.xunta.es/centros/cifpcoroso/gl/system/files/CT11\\_Sistemas\\_navales.pdf](http://www.edu.xunta.es/centros/cifpcoroso/gl/system/files/CT11_Sistemas_navales.pdf)

[Consulta: Agost 2015]

## 9. Plànols i esquemes

A continuació es mostra un llistat dels esquemes i plànols del projecte.

### **Plànols de l'embarcació**<sup>1</sup>

- 01- Distribució general A
- 02- Distribució general B
- 03- Distribució general C
- 04- Distribució general D

### **Altres plànols i esquemes**

- 05- Distribució plaques solars
- 06- Localització aerogeneradors
- 07- Esquema unifilar CGBT

---

<sup>1</sup> **Nota:** Els plànols de l'embarcació no són d'elaboració pròpia